

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Pedro Franzoni

*Implementação do Controle Estatístico de Processo em um processo de
corte e crimpagem de circuitos elétricos*

São Carlos
Novembro 2017



Pedro Franzoni

Orientador: Prof. Dr. Luiz César Ribeiro Carpinetti

Implementação do Controle Estatístico de Processo em um processo de corte e crimpagem de circuitos elétricos

Trabalho de Conclusão de Curso elaborado pelo aluno Pedro Franzoni estudante do de Curso de Engenharia de Produção Mecânica na Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Engenheiro de Produção Mecânica

São Carlos
Novembro 2017

RESUMO

No mundo atual, as empresas buscam cada vez mais a melhoria contínua dos seus processos para redução de custos, aumento da qualidade dos produtos e serviços oferecidos e aumento da sua competitividade. Uma das maneiras mais usadas é a aplicação do Controle Estatístico dos Processos para a identificação de fraquezas e oportunidade de melhorias. O presente trabalho utilizou ferramentas estatísticas para melhorar o controle e qualidade de um processo chave em uma empresa multinacional do ramo das cerâmicas técnicas. O caso de aplicação usado neste trabalho foi feito em um processo de fabricação de circuitos elétricos. Inicialmente, foram feitas medições para se entender a real situação do processo. Posteriormente, foram identificados pontos de melhorias, os quais foram aplicados e uma nova etapa de medição foi feita para avaliar seu impacto prático na qualidade do processo. Com o presente trabalho, foi possível compreender fatores que influenciavam na variabilidade do processo e foram propostas maneiras que pudessem reduzi-los ou até mesmo extingui-los.

Palavras-chave: melhoria contínua, Controle Estatístico de Processo.

ABSTRACT

In today's world, companies increasingly seek to continuously improve their processes to reduce costs, increase the quality of products and services offered and increase their competitiveness. One of the most used ways is the application of Statistical Process Control for the identification of weaknesses and the opportunity for improvement. The present work used statistical tools to improve the control and quality of a key process in a multinational company in the field of technical ceramics. The case study used in this work was done in a process of manufacturing electric circuits. Initially, measurements were taken to understand the real situation of the process. Subsequently, improvement points were identified, which were applied and a new measurement step was done to evaluate its practical impact on process quality. With the present work, it was possible to understand factors that influenced the variability of the process and were proposed ways that could reduce or even extinguish them.

Key words: continuous improvement, Statistical Process Control.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Contextualização.....	10
1.2 Objetivo.....	10
1.3 Etapas para o desenvolvimento do projeto	10
1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 A importância da qualidade nas organizações modernas	12
2.2 Controle Estatístico de Processo	12
2.3 Histograma.....	14
2.4 Gráfico de Pareto	16
2.5 Curva de distribuição normal	16
2.6 Variações comuns e variações especiais	17
2.7 Gráficos de Controle	18
2.7.1 Cálculo dos limites d gráfico de controle	20
2.7.2 Análise dos gráficos de controle.....	23
2.8 Capabilidade do processo.....	25
2.8.1 Índices Cp e Cpk	27
2.8.2 Índices Pp e Ppk.....	28
3 CASO DE APLICAÇÃO.....	29
3.1 O processo de corte e crimpagem de circuitos	29
3.2 Parâmetros controlados no processo.....	33
3.3 Processo e controles antes do processo	34
3.4 Coleta inicial de dados do processo de corte e crimpagem	35
3.5 Análise estatística do processo antes das ações do projeto	36
3.6 Análise do comprimento do circuito (código 269)	37
3.7 Análise da altura de crimpagem do terminal tubular	42
3.8 Análise da altura de crimpagem do terminal reto	46
3.9 Propostas de melhorias identificadas.....	49
3.10 Software InfinityQS	50
3.11 Coleta e análise dos dados pós melhorias e mudanças	54
3.12 Análise do comprimento do circuito (código 269) (pós melhorias)	54
3.13 Análise da altura de crimpagem do terminal tubular (pós melhorias).....	57
3.14 Análise da altura de crimpagem do terminal reto (pós melhorias)	60
3.15 Análise dos custos dos rejeitos	63
4 CONCLUSÃO	64
4.1 Análise geral dos índices de capabilidade e performance	64
4.2 Análise geral da qualidade com as ações tomadas no projeto	65
5 BIBLIOGRAFIA	65

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Histograma – Distribuição salarial	14
Gráfico 2 – Histograma – Distribuição de defeitos 1	15
Gráfico 3 – Histograma – Distribuição de defeitos 2	15
Gráfico 4 – Pareto – Distribuição de defeitos	16
Gráfico 5 – Curva genérica de distribuição normal	17
Gráfico 6 – Gráfico de controle: Exemplo: processo sob controle.....	19
Gráfico 7 – Gráfico de controle: Exemplo: processo fora de controle	20
Gráfico 8 – Gráfico de controle – Sequência.....	23
Gráfico 9 – Gráfico de controle – Periodicidade	24
Gráfico 10 – Gráfico de controle – Tendências	24
Gráfico 11 – Gráfico de controle – Aproximação dos limites.....	25
Gráfico 12 – Curva de distribuição normal – Limites Naturais 3 Sigma.....	26
Gráfico 13 – Média e amplitude: Comp. circuito 269 – 32 subgrupos.....	38
Gráfico 14 – Média e amplitude: Comp. circuito 269 – 31 subgrupos	39
Gráfico 15 – Média e amplitude: Comp. circuito 269 – 160 subgrupos	40
Gráfico 16 – Análise de capacidade: Comp. circuito 269 – 160 subgrupos.....	41
Gráfico 17 – Média e amplitude: Alt. crimp. term. tubular – 32 subgrupos	42
Gráfico 18 – Média e amplitude: Alt. crimp. term. tubular – 29 subgrupos	43
Gráfico 19 – Média e amplitude: Alt. crimp. term. tubular – 160 subgrupos	44
Gráfico 20 – Análise de capacidade: Alt. crimp. term. tubular – 160 subgrupos	45
Gráfico 21 – Média e amplitude: Alt. crimp. term. reto – 32 subgrupos.....	46
Gráfico 22 – Média e amplitude: Alt. crimp. term. reto – 160 subgrupos.....	47
Gráfico 23 – Análise de capacidade: Alt. crimp. term. reto – 160 subgrupos	48
Gráfico 24 – Média e amplitude: Comp. circuito 269 – 32 subgrupos	54
Gráfico 25 – Média e amplitude: Comp. circuito 269 – 160 subgrupos	55
Gráfico 26 – Análise de capacidade: Comp. circuito 269 – 160 subgrupos.....	56
Gráfico 27 – Média e amplitude: Alt. crimp. term. tubular – 32 subgrupos	57
Gráfico 28 – Média e amplitude: Alt. crimp. term. tubular – 160 subgrupos	58
Gráfico 29 – Análise de capacidade: Alt. crimp. term. tubular – 160 subgrupos	59
Gráfico 30 – Média e amplitude: Alt. crimp. term. reto – 32 subgrupos.....	60
Gráfico 31 – Média e amplitude: Alt. crimp. term. reto – 160 subgrupos.....	61
Gráfico 32 – Análise de capacidade: Alt. crimp. term. reto – 160 subgrupos	62

LISTA DE IMAGENS

Imagem 1 – Conjunto de acendimento de fogão montado.....	29
Imagem 2 – Terminal tubular e ignitor cerâmico	30
Imagem 3 – Terminal reto e isolador plástico.....	31
Imagem 4 – Circuito de silicone pronto	32
Imagem 5 – Mini-aplicador usado na crimpagem de terminais	32
Imagem 6 – Exemplo de cartas CEP manuais.....	36
Imagem 7 – Software InfinityQS – Comprimento do circuito	51
Imagem 8 – Software InfinityQS – Alt. crimpagem terminal tubular	52
Imagem 9 – Software InfinityQS – Alt. crimpagem terminal reto	52
Imagem 10 – Software InfinityQS – Regras de alerta	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Constantes para os cálculos dos limites	22
Tabela 2 – Valores de especificações do processo	33
Tabela 3 – Rejeitos por componentes do circuito antes do projeto	35
Tabela 4 – Plano de coleta de dados	37
Tabela 5 – Capabilidade e performance (antes): Comp. circuito 269	41
Tabela 6 – Capabilidade e performance (antes): Alt. crimp. term. tubular	45
Tabela 7 – Capabilidade e performance (antes): Alt. crimp. term. reto	49
Tabela 8 – Capabilidade e performance (depois): Comp. circuito 269	56
Tabela 9 – Capabilidade e performance (depois): Alt. crimp. term. tubular	59
Tabela 10 – Capabilidade e performance (depois): Alt. crimp. term. reto	62
Tabela 11 – Rejeitos por componentes do circuito depois do projeto	63
Tabela 12 – Comparação dos índices de capabilidade e performance	64

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Função de distribuição normal	17
Equação 2 – Cálculo da média	20
Equação 3 – Cálculo do limite central	20
Equação 4 – Cálculo da amplitude.....	20
Equação 5 – Cálculo da média das amplitudes	20
Equação 6 – Cálculo do estimador do desvio padrão	20
Equação 7 – Cálculo do limite superior do gráfico da média.....	20
Equação 8 – Cálculo do limite inferior do gráfico da média.....	20
Equação 9 – Cálculo do limite superior do gráfico da amplitude.....	21
Equação 10 – Cálculo do limite inferior do gráfico da amplitude.....	21
Equação 11 – Cálculo da capacidade do processo	27
Equação 12 – Cálculo do C_{pk}	27

1 Introdução

1.1 Contextualização

No mundo dos negócios, a qualidade tem sido, cada vez mais, um elemento de vital importância na escolha do cliente e de ter com este um bom relacionamento. A qualidade e os processos consistentes e robustos têm sido fatores determinantes na permanência das empresas no ramo em que atuam e na conquista de novos mercados.

Com o objetivo de reduzir custos e desperdícios para se tornarem empresas cada vez mais competitivas, a melhoria contínua da qualidade dos produtos e serviços tem sido usada por, basicamente, todas as corporações.

O Controle Estatístico do Processo é uma das ferramentas mais eficazes no monitoramento e na detecção de melhorias em processos de produção, especialmente em processos com alta taxa de saída de produtos.

1.2 Objetivo

O objetivo deste trabalho é aplicar técnicas de Controle Estatístico do Processo ligados à Engenharia de Produção em um processo chave de uma empresa multinacional do ramo das cerâmicas técnicas. Com isso, espera-se melhorar a qualidade do corte e da crimpagem de fios. Esse trabalho será feito, portanto, em parceria com esta empresa, que está entre as maiores fabricantes de cerâmicas técnicas do mundo.

1.3 Etapas para o desenvolvimento do projeto

O método será a análise, através de uma coleta de dados do processo e a aplicação das técnicas de Controle Estatístico de Processo com o software MiniTab, visando mapear suas condições atuais. Com uma análise detalhada dos parâmetros e gráficos encontrados, o projeto estará em busca de causas aleatórias. Após estas etapas, será feita uma segunda coleta de dados na qual espera-se evidenciar gráfica e estatisticamente melhorias na qualidade do produto.

Os clientes internos e externos serão sempre o foco das ações corretivas, de modo que os processos se tornem mais capazes para atingir com êxito suas especificações e expectativas.

2 Revisão bibliográfica

Neste capítulo, serão apresentadas e discutidas as principais referências teóricas, ferramentas e definições que serão utilizadas durante o desenvolvimento deste trabalho.

2.1 A importância da qualidade nas organizações modernas

No mundo atual, devido à grande competitividade do mundo corporativo, as empresas de todos os ramos buscam entregar qualidade para seus clientes em seus produtos e serviços. Por outro lado, elas também esperam determinada qualidade de seus fornecedores, formando um ambiente onde toda a indústria visa receber e entregar bens considerados com qualidade (SOUZA e ABIKO, 1997).

Além da exigência do mercado, a presença cada vez maior de órgão reguladores tem tornado a qualidade um fator de suma importância dentro da política de quase todas as corporações que visam se manter ativas no mercado e crescer no futuro (BASTOS e GIACOMINI, 2013).

Tendo como foco a expansão, o lucro financeiro e o atendimento dos requisitos dos clientes, muitas empresas acabam adotando um Sistema de Gestão da Qualidade para criar uma cultura organizacional. Neste SGQ, são conhecidas as necessidades e expectativas dos clientes, fazendo que toda a organização funcione como uma engrenagem para satisfazer os consumidores e obter boas relações e lucro com isso.

O SGQ traz à organização uma maior padronização e controle dos processos internos, melhorando a eficácia das ações tomadas com o foco de satisfazer o cliente e melhorar continuamente.

2.2 Controle Estatístico de Processo

No sentido desta melhoria contínua, diversas ferramentas foram criadas para que as organizações enxerguem com facilidade o que os clientes esperam delas e como elas podem melhorar internamente para atingir essas necessidades. O Controle

Estatístico de Processo (CEP), a principal objetivo debatido neste trabalho, é uma destas ferramentas.

O Controle Estatístico de Processo (CEP) é uma ferramenta preventiva que tem por finalidade desenvolver e aplicar o método estatístico dentro de um processo, auxiliando o seu entendimento. Entendimento este que é feito pela análise de tendências de variações significativas e utilizando-se método e dados estatísticos.

O principal objetivo do CEP é estabilizar o processo por meio da redução da sua variação, garantindo uma melhoria e uma manutenção constante da qualidade. Desta maneira, é assegurada a conformidade, atendendo as necessidades dos clientes internos e externos (GOMES, 2010).

Dentre muitas de suas utilidades, esta ferramenta auxilia a prevenção de defeitos no processo, ajuda a reduzir os gastos e promove um melhor gerenciamento da qualidade do produto.

Em muitos casos, analisando estatisticamente o processo, é possível verificar indícios de que ele não está ocorrendo devidamente por conta de alguma falha referente à manutenção de instrumentos, isto é, existem fatores dentro do processo que geram variações na qualidade do produto. Uma constatação como esta pode evitar investimentos financeiros desnecessários e faz com que paradas do processo por falta de manutenção sejam menos severas e frequentes.

Por ser uma ferramenta preventiva, muitos problemas no processo são resolvidos ainda em uma baixa complexidade, proporcionando um menor gasto financeiro e de tempo para resolvê-lo. (GOMES, 2010)

Através do Controle Estatístico do Processo é possível visualizar facilmente a conformidade do produto de acordo com determinada situação das entradas do processo. Em outras palavras, vê-se a influência de cada uma das entradas no resultado final e é possível configurá-las para uma melhor qualidade do produto.

Além de todos estes benefícios, o CEP agrega conhecimento do processo e dos pontos mais críticos relacionados a ele, facilitando a visualização de possibilidades de melhorias.

2.3 Histograma

Histograma é um gráfico de barras que mostra de forma objetiva a frequência de ocorrência de determinado dado. No exemplo abaixo, é mostrado a distribuição de salários dentro de um departamento e, o tamanho de cada coluna, representa o número de pessoas cujo salário se encaixa no intervalo.

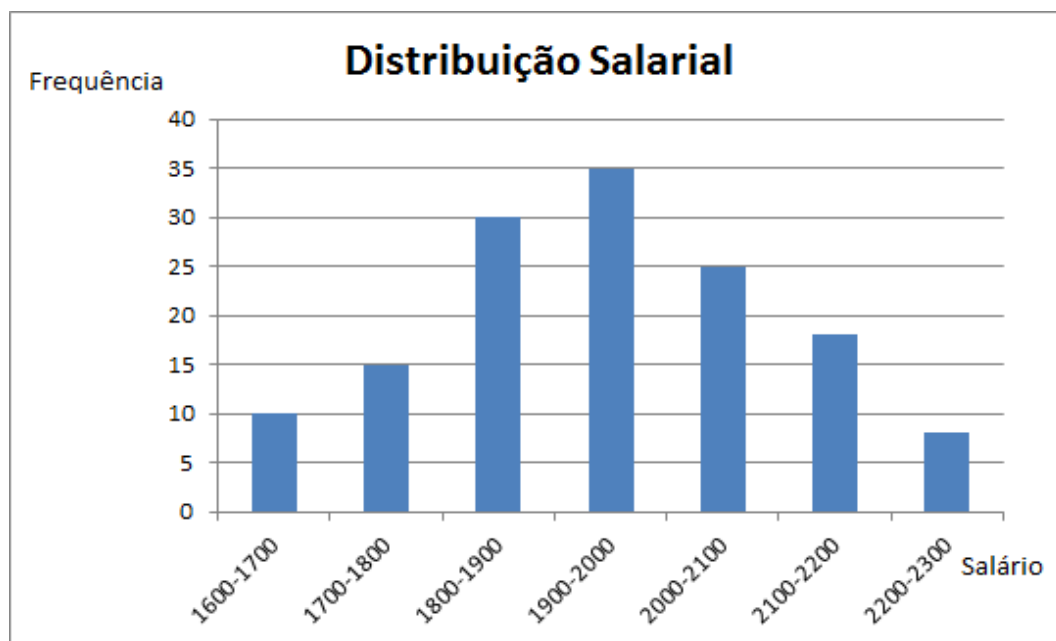


Gráfico 1: Histograma – Distribuição salarial, Fonte: O autor

Dentro do contexto da Engenharia, histogramas podem ser usados para demonstrar a frequência de cada defeito no produto final, os motivos das paradas para manutenção, paradas no processo em si ou até mesmo a produtividade de um turno ao passar de cada hora ou dia.

Além disso, é uma importante ferramenta dentro de Controle Estatístico do Processo uma vez que no histograma é possível observar tendências, padrões e dispersões.

Nos gráficos abaixo, é possível verificar estas características. No gráfico 2, percebe-se que a dispersão dos defeitos é muito maior que no gráfico 3, isto é, as frequências de defeitos estão mais divididas entre diferentes colunas. No gráfico 3, é possível verificar uma tendência, isto é, percebe-se que o número de ocorrência devido ao encape do fio é muito maior que os demais defeitos.

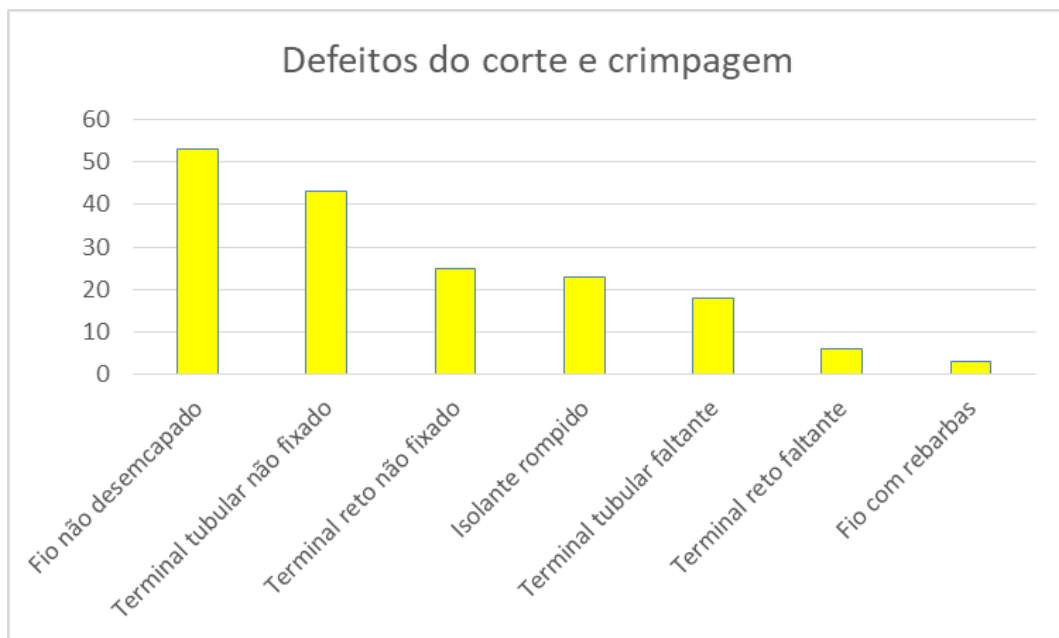


Gráfico 2: Histograma – Distribuição de defeitos 1, Fonte: O autor

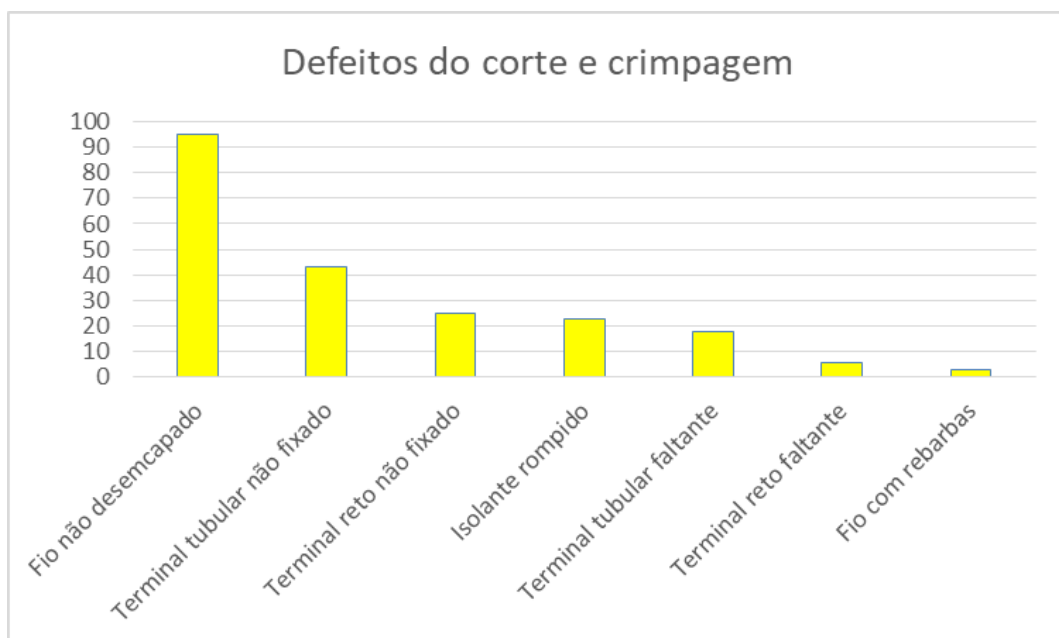


Gráfico 3: Histograma – Distribuição de defeitos 2, Fonte: O autor

2.4 Diagrama de Pareto

Diagrama de Pareto está intimamente ligado com histograma. Esta importante ferramenta organiza as colunas do histograma da maior para a menor e mostra uma curva de porcentagem acumulada para cada coluna.

Dentre suas inúmeras utilidades, o Diagrama de Pareto serve principalmente mostrar de maneira simples e objetiva como deve ser feita a priorização ao se atacar as causas de um problema ou na escolha de qual problema atacar com mais urgência.

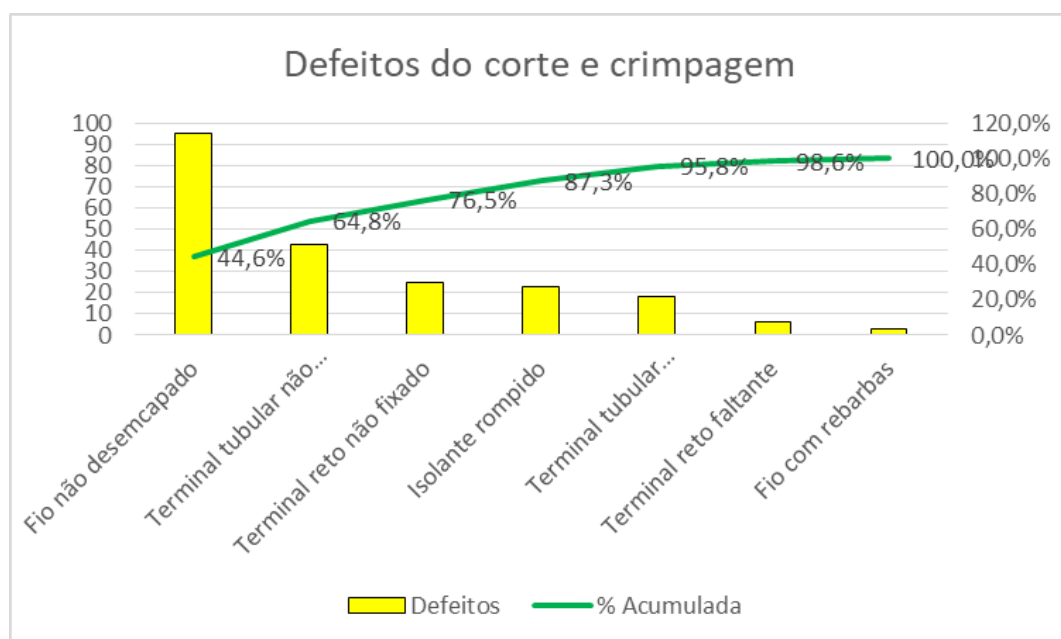


Gráfico 4: Pareto – Distribuição de defeitos, Fonte: O autor

No gráfico 3, mostrado acima, vê-se em amarelo a frequência de ocorrência de cada defeito e em verde a porcentagem acumulada de cada um deles. Nesta situação, priorizando o encape dos fios e a má fixação dos terminais, 76,5% dos defeitos já seriam atacados. Vemos neste gráfico qual a real significância de cada defeito.

2.5 Curva de Distribuição Normal

Na área de probabilidade e estatística, a distribuição normal é uma forma de distribuição que pode ser usada para modelar diversos fenômenos naturais. Em

muitos casos, fatores e resultados de processos seguem uma distribuição que tende a ser Normal.

A função que define a distribuição normal é definida na equação 1.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

Equação 1: Função de distribuição normal, Fonte: GOMES, 2010

Onde σ representa o desvio padrão da amostra e μ representa a média da amostra. O formato da curva Normal se assemelha com o gráfico 5, abaixo.

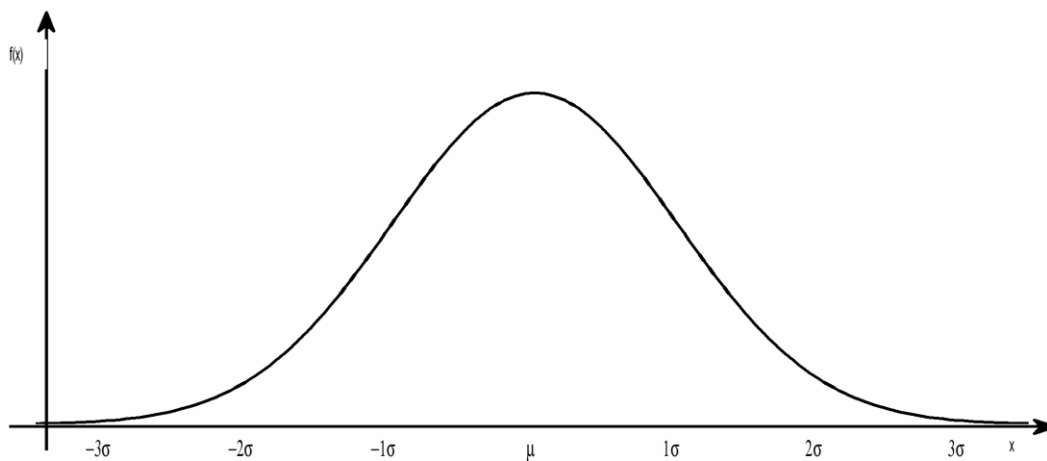


Gráfico 5: Curva genérica de distribuição normal, Fonte: GOMES, 2010

2.6 Variações comuns e variações especiais

Dentro de um processo, existem 2 tipos de causas de variações, as ocasionadas pelas chamadas causas comuns ou pelas causas especiais. O primeiro tipo é natural de todos os processos, isto é, é o grau natural de variação que todo processo apresenta. São estas as denominadas causas comuns. Todo processo, por

mais estável que ele seja, possui uma variação natural. Estas variações são as somas das causas de variabilidade inerentes (CARPINETTI, 1998).

Já as variações especiais são aquelas causadas por algum fator que não é natural ao processo, seja uma desregulagem na máquina, um problema na ferramenta ou mesmo uma ação do operador. Este é o tipo de causa que se procura controlar ou até extinguir do processo utilizando o CEP. Causas especiais são devido à ocorrências incomuns, ocasionalmente presentes no processo (RIBEIRO, 2012).

Com base nestas variações, classifica-se o processo como dentro ou fora de controle.

2.7 Gráficos de Controle

Visando identificar a ocorrência das causas especiais para aplicar uma possível solução, uma ferramenta muito usada são as cartas ou os gráficos de controle. Se o processo estiver sob controle, usa-se este gráfico para a proposição de melhorias. No caso do processo já se encontrar sob controle, os gráficos de controle são usados para a análise presente e futura (GOMES, 2010).

As cartas de controle são uma forma de monitoramento contínuo na variabilidade do processo. Seu principal objetivo é detectar variações anormais para que suas possíveis causas sejam levantadas e estudadas, chegando-se à soluções que as eliminem e que evitem que elas voltem a acontecer.

Os gráficos de controle são formados por valores plotados coletados no processo durante um determinado tempo (dia-dia, hora-hora, minuto-minuto).

Na prática, um responsável planeja e monta um plano de coleta de dados e faz as medições no processo de acordo com esse plano. Neste plano, é definida a frequência de coleta, o número de peças e até mesmo como devem ser escolhidas as peças para medição.

Um dos tipos de carta de controle é por atributo, isto é, as observações são classificadas por atributos, contendo proporção de peças não conformes, quantidade de peças aprovadas, etc.

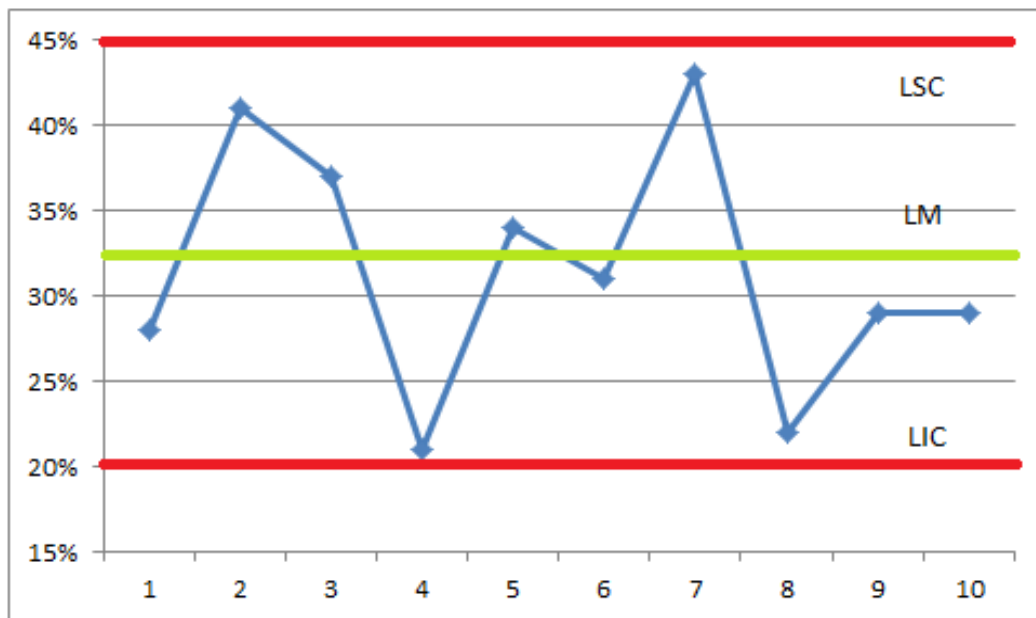


Gráfico 6: Gráfico de controle: Exemplo: processo sob controle, Fonte: O autor

Outro exemplo de carta de controle é a formada por variáveis, isto é, os dados plotados são valores medidos numericamente de alguma forma. Este tipo de carta de controle costuma mostrar mais características do processo do que o gráfico anterior.

Nestes gráficos podem ser colocados os valores observados em cada amostra, as médias dos resultados obtidos em cada uma das amostras, proporção de peças defeituosas dentro de uma amostra ou até mesmo a amplitude observada dentro dela.

Os valores são colocados em ordem temporal, onde o eixo horizontal representa cada amostra coletada e o eixo vertical os valores que essas amostras representam.

Nos gráficos de controle também existe uma linha central e outras duas chamadas de limites de controle. A partir destas linhas, a regra de decisão é simples e visual: pontos dispostos acima do limite de controle superior ou abaixo do limite de controle inferior indicam que o processo está fora de controle.

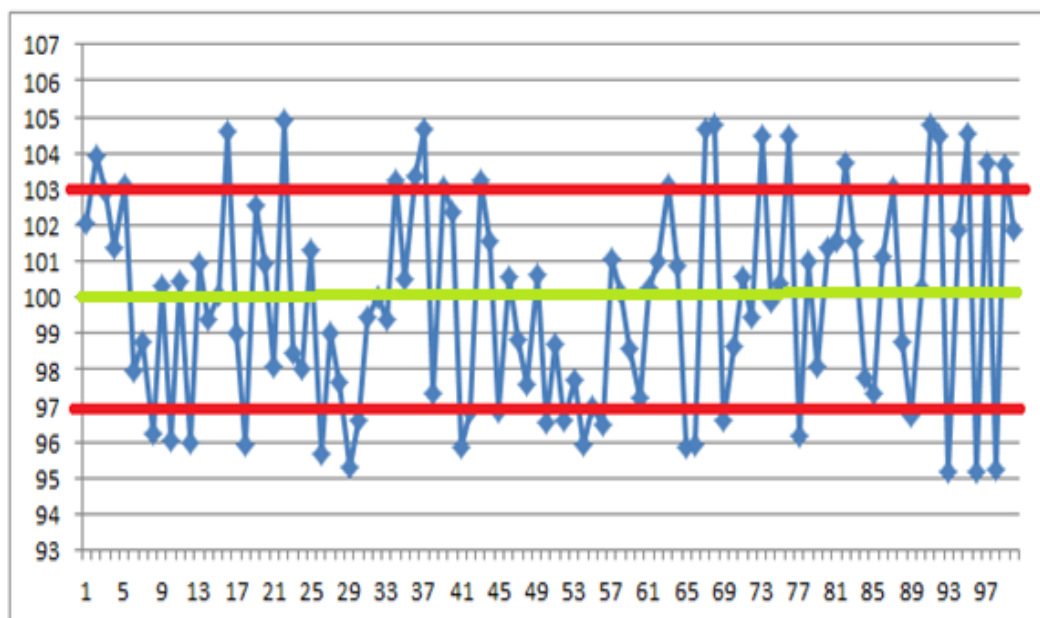


Gráfico 7: Gráfico de controle – Exemplo: processo fora de controle, Fonte: O autor

Da mesma forma que se todos os pontos estiverem distribuídos aleatoriamente entre os limites inferior e superior pode-se concluir que o processo não apresenta evidências de estar fora de controle.

2.7.1 Cálculo dos limites do gráfico de controle

Como nos processos analisados há uma saída de milhares de peças por hora e o custo de cada observação é baixo, é conveniente que se meça mais de uma peça em cada amostra. Visto isto, os cálculos abaixo se referem à amostras com $n > 1$.

Os parâmetros de um gráfico de controle são calculados conforme mostrados a seguir (GOMES, 2010).

No cálculo dos parâmetros do gráfico de controle, começa-se por \bar{X} , dada pela equação 2:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$$

Equação 2: Cálculo da média, Fonte: GOMES, 2010

Em seguida, partindo-se do pressuposto que a amostra é suficientemente grande para a média amostral gerar uma distribuição normal.

Se m amostras de n unidades cada amostras, tem-se o melhor estimador da média do processo (μ), a linha central do gráfico de \bar{X} , mostrado na equação 3:

$$LC = \bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \dots + \bar{X}_m}{m}$$

Equação 3: Cálculo do limite central, Fonte: GOMES, 2010

Para um estimativa do desvio padrão usa-se a amplitude R. Desta forma, a amplitude de cada amostra é dada pela equação 4.

$$R = X_{\text{máx}} - X_{\text{mín}}$$

Equação 4: Cálculo da amplitude, Fonte: GOMES, 2010

A partir disso, a linha central (LC) ou média das amplitudes é dada pela equação 5:

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_m}{m}$$

Equação 5: Cálculo da média das amplitudes, Fonte: GOMES, 2010

A segunda etapa de cálculos é para determinar os limites de controle. A partir do estimador não viciado do desvio padrão dada pela equação abaixo tem-se todas as ferramentas necessárias para os cálculos dos limites.

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

Equação 6: Cálculo do estimador do desvio padrão, Fonte: GOMES, 2010

$$LSC = \mu_{\bar{X}} + 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \bar{\bar{X}} + 3 \frac{\bar{R}}{d_2 \sqrt{n}}$$

Equação 7: Cálculo do limite superior do gráfico da média, Fonte: GOMES, 2010

$$LIC = \mu_{\bar{X}} - 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \bar{\bar{X}} - 3 \frac{\bar{R}}{d_2 \sqrt{n}}$$

Equação 8: Cálculo do limite inferior do gráfico da média, Fonte: GOMES, 2010

Por outro lado, os limites do gráfico de R são dados pelas equações 9 e 10:

$$LSC = \bar{R} + 3 \hat{\sigma}_R = \bar{R} + 3 d_3 \frac{\bar{R}}{d_2}$$

Equação 9: Cálculo do limite superior do gráfico da amplitude, Fonte: GOMES, 2010

$$LIC = \bar{R} - 3 \hat{\sigma}_R = \bar{R} - 3 d_3 \frac{\bar{R}}{d_2}$$

Equação 10: Cálculo do limite inferior do gráfico da amplitude, Fonte: GOMES, 2010

Onde d_2 e d_3 são constantes que dependem do tamanho da amostra, conforme mostrado na tabela 1.

Amostra	d_2	d_3	Amostra	d_2	d_3
2	1,128	0,953	14	3,407	0,763
3	1,693	0,888	15	3,472	0,756
4	2,059	0,88	16	3,532	0,75
5	2,326	0,864	17	3,588	0,744
6	2,534	0,848	18	3,64	0,739
7	2,704	0,833	19	3,689	0,734
8	2,847	0,82	20	3,375	0,729
9	2,97	0,808	21	3,778	0,724
10	3,078	0,797	22	3,819	0,72
11	3,173	0,787	23	3,858	0,716
12	3,258	0,778	24	3,819	0,712
13	3,336	0,77	25	3,931	0,708

Tabela 1: Constantes para os cálculos dos limites, Fonte: GOMES, 2010

2.7.2 Análise dos gráficos de controle

Após a observação e ter-se a constatação de que todos os pontos estão dentro dos limites, ainda podem haver causas especiais influenciando nas variações do processo.

Sendo assim, uma análise mais profunda para a verificação de padrões não aleatórios deve ser feita.

A análise feita por softwares de padrões não aleatórios em gráficos de controle aumenta a sensibilidade do gráfico de controle (MEDEIROS, 2013).

Sequência

É denominado sequência o fato de vários pontos seguidos se encontrarem na parte de baixo ou na parte de cima do limite central de controle.

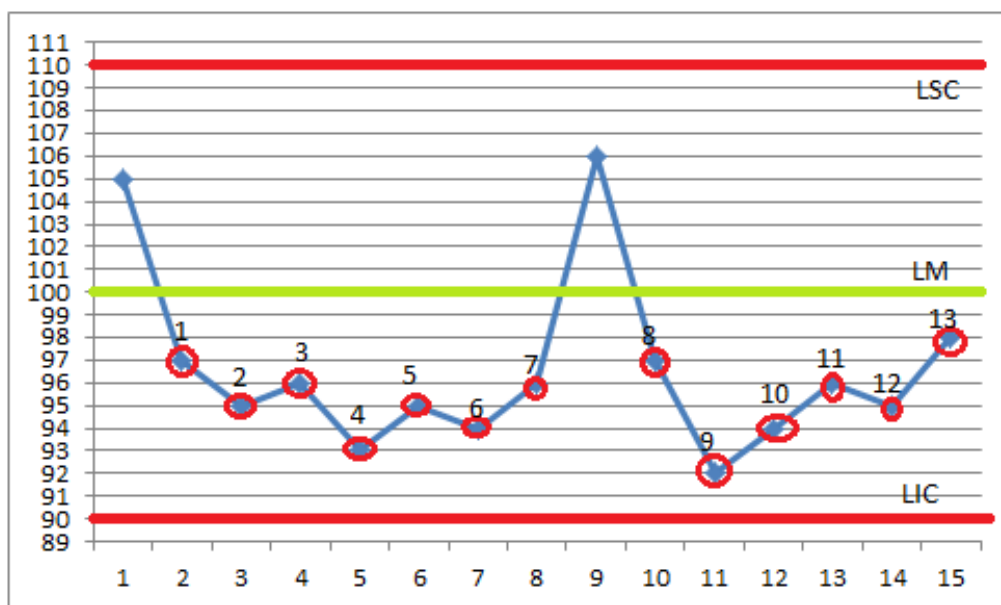


Gráfico 8: Gráfico de controle – Sequência, Fonte: O autor

Como é possível verificar no gráfico 8, apesar de todos os pontos estarem dentro dos limites, 13 dos 15 pontos estão abaixo da linha média, onde 7 deles foram seguidos. Isto é uma prova concreta da existência de causas especiais agindo sobre o processo.

Periodicidade

Mais uma vez, todos os pontos se encontram entre o limite inferior e o superior. Contudo, analisando a disposição dos pontos, vê-se um padrão periódico, isto é, não aleatório. Gráficos de controle dispostos dessa maneira deixam evidente a ação de causas aleatórias.

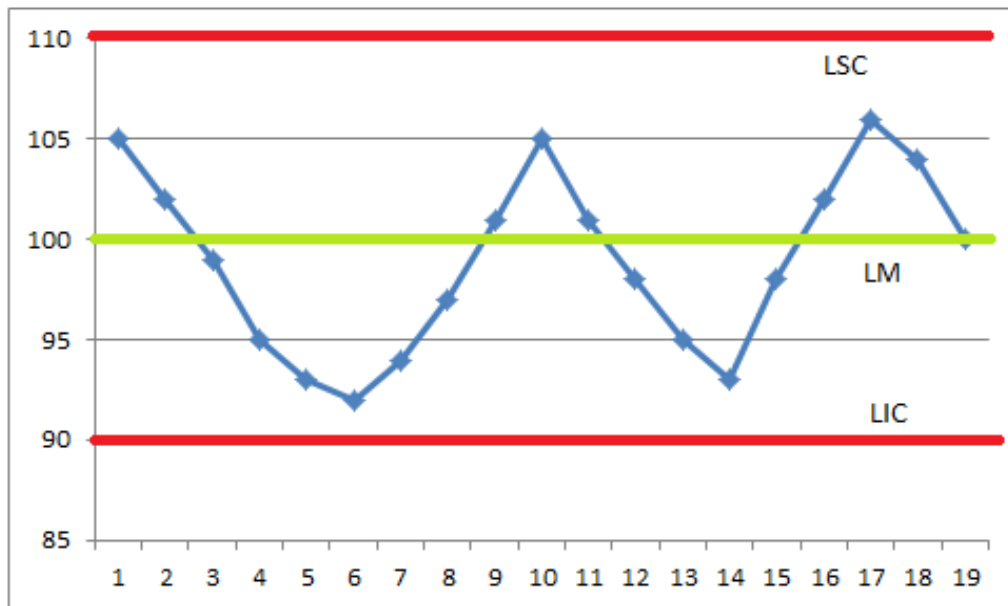


Gráfico 9: Gráfico de controle – Periodicidade, Fonte: O autor

Tendência decrescente ou decrescente

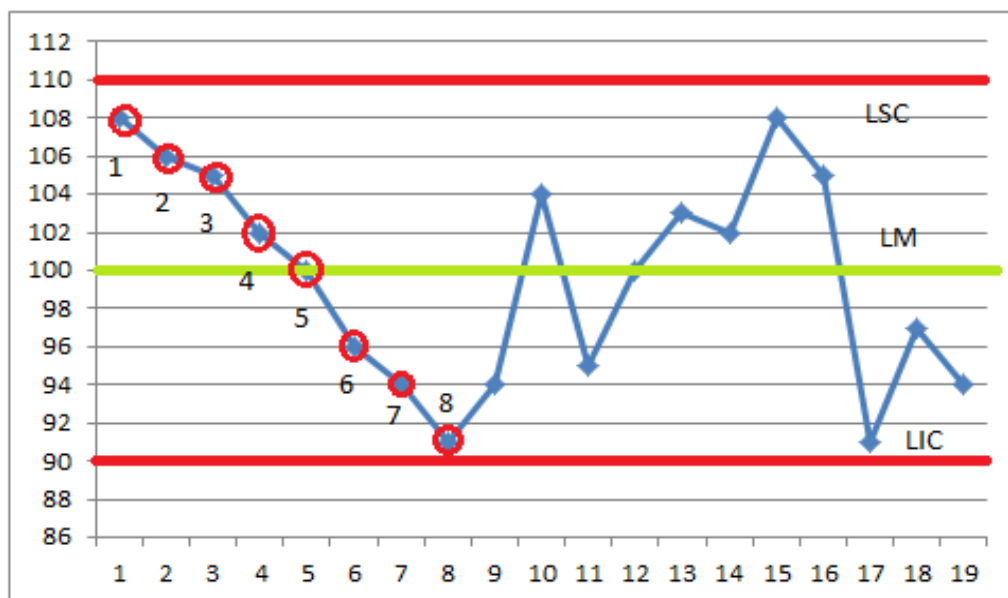


Gráfico 10: Gráfico de controle - Tendências, Fonte: O autor

Outro possível cenário que evidencia a presença de causas especiais é o ilustrado no gráfico 10, onde pontos consecutivos possuem valores decrescentes ou crescentes.

Aproximação dos limites

A ocorrência de uma grande quantidade de pontos perto dos limites pode indicar causas especiais e este cenário ocorre geralmente em ajustes baseados no processo por base nas causas comuns e não nas especiais.

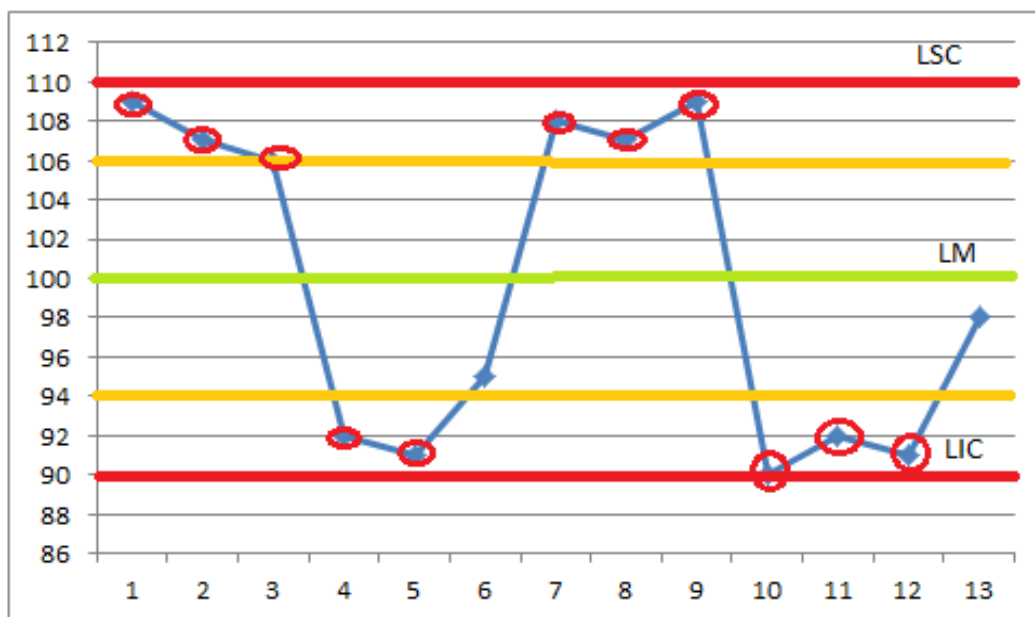


Gráfico 11: Gráfico de controle – Aproximação dos limites, Fonte: O autor

É importante ressaltar que, na prática, todas essas evidências de descontroles são quase sempre verificadas por softwares.

2.8 Capacidade do processo

Capabilidade de um processo é entendida como uma verificação da variabilidade do processo e que permita a comparação com as especificações do produto.

Sabe-se que se um processo se encontra apenas sob efeito de causas crônicas de variabilidade, 99,73% dos dados estarão no intervalo de $(+3\sigma, -3\sigma)$ (RIBEIRO, 2012).

Visando esta comparação, a capacidade do processo se refere à uniformidade do processo, seja ela instantaneamente ou ao longo do tempo.

Dado um processo que segue uma distribuição normal, possui uma média μ e um desvio padrão σ , tem os limites naturais de tolerância definidos em:

$$\text{Limite Natural Tolerância Superior} = \mu + 3\sigma$$

$$\text{Limite Natural Tolerância Inferior} = \mu - 3\sigma$$

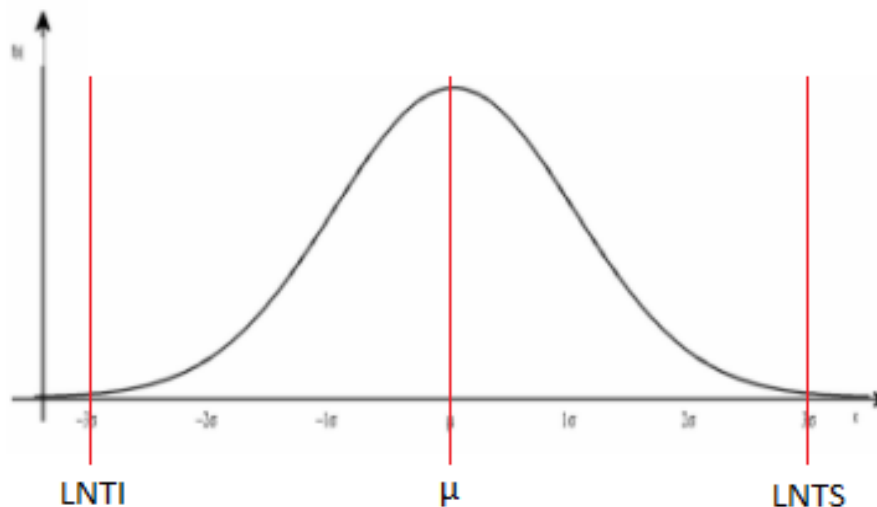


Gráfico 12: Curva de distribuição normal – Limites Naturais 3σ , Fonte: LOUZADA et al, 2013

Assim, considerando ainda os limites naturais de tolerância e uma distribuição normal dos dados coletados nas amostras, 99,73% das saídas do processo estarão dentro destes limites. Por outro lado, 0,27% estará fora das especificações, representando 2700 defeitos a cada milhão de peças produzidas. Para produções em massa, esse número de não conformidades é considerado alto (LOUZADA et al., 2013).

2.8.1 Índices C_p e C_{pk}

A capacidade de um processo é medida pelo índice C_p , a razão entre a diferença dos limites de especificação e os limites do processo, conforme mostra a equação 11.

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{LSNT - LINT} = \frac{LSE - LIE}{\mu + 3\sigma - (\mu - 3\sigma)} = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

Equação 11: Cálculo da capacidade do processo, Fonte: GOMES, 2010

Uma vez que o índice C_p não aponta falta de centralidade, existe a necessidade de se usar também o índice C_{pk} para uma análise mais precisa.

$$C_{pk} = \min\left(\frac{LSE - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LIE}{3\sigma}\right)$$

Equação 12: Cálculo do C_{pk} , Fonte: GOMES, 2010

De forma geral, a utilidade do C_p é medir a capacidade potencial do processo enquanto que o C_{pk} fornece a capacidade atual do processo. Em outras palavras, ao se eliminar as causas especiais de variação de um processo e este for centralizado em μ , sua capacidade é dada pelo C_p .

Uma análise prática dos valores de C_p e C_{pk} pode ser feita da seguinte forma (MEDEIROS, 2013):

- C_p e $C_{pk} > 1,33$: processo capaz para +/- 4 desvios padrões e no máximo 26 peças fora da tolerância a cada 1 milhão de peças produzidas.
- C_p e $C_{pk} > 1,00$ e $< 1,33$: processo capaz para +/- 3 desvios padrões e no máximo 2700 peças fora da tolerância a cada 1 milhão de peças produzidas.
- C_p e $C_{pk} < 1$: processo capaz para +/- 3 desvios padrões e mais de 2700 peças fora da tolerância a cada 1 milhão de peças produzidas.

2.8.2 Índices P_p e P_{pk}

Propostos por Herman em 1989, ambos os índices são usados para medir a performance de um processo. Se a performance de um processo é alta, isto é, se há pouca variação, os índices de capacidade tendem a se aproximar dos índices de performance. O contrário também ocorre, sinalizando numericamente a existência de causas especiais de variação (MEDEIROS, 2013).

A análise da capacidade do processo permite a previsão de tolerâncias que serão utilizadas em projetos ou passadas para clientes, ajuda nas especificações de desempenho de um equipamento novo, ajuda no planejamento da ordem dos processos de modo que as tolerâncias sejam mantidas e, principalmente, reduz a variação de um processo de produção (LOUZADA et al., 2013).

3 Caso de aplicação

Neste capítulo será apresentado o processo de corte e crimpagem de circuitos, os parâmetros controlados neste processo, as especificações de cada parâmetro, as condições do processo antes da ação do projeto, a método que o software de CEP será implementado no processo e como será o plano de coleta de dados.

3.1 O processo de corte e crimpagem de circuitos

Dentre muitos dos produtos fabricados pela empresa, os ignitores de fogão representam a maior parcela do faturamento mensal. Ignitores são uma parte essencial no acendimento do fogo do fogão, por dentro dele passa o eletrodo metálico que fornece a faísca para o acendimento da chama. Suas principais funções são isolar a mesa metálica da faísca fornecida para o acendimento e resistir à temperatura da chama sem sofrer qualquer tipo de dano.



Imagem 1: Conjunto de acendimento de fogão montado. , Fonte: O autor

A ligação entre o ignitor do fogão e o sistema elétrico que fornece a corrente para o acendimento é um fio revestido de teflon, silicone ou fibra e seu comprimento varia de acordo com o produto final desejado. A colocação dos terminais metálicos e o corte do fio são feitos pelo processo que será estudado neste projeto, o processo de corte e crimpagem.

A matéria prima do processo são rolos de fio com cerca de 900 metros de comprimento, comprados do nosso fornecedor. Este fio entra em uma máquina que está ligada a um computador, onde o operador seleciona o produto a ser fabricado. Por um processo de “aprendizagem”, o comprimento do fio e as alturas de cravamento do terminal são medidos pelo operador e fornecidos para a máquina, que já realiza os ajustes internos para que as medidas ideais sejam atingidas. O tamanho do fio é medido em milímetros e pode variar de cerca de 150 a 1100mm de comprimento.

Após cortado, antes de saírem da máquina, os dois terminais são colocados nas extremidades do circuito. Um destes terminais, o tubular, é onde é encaixado o ignitor e eletrodo mencionados anteriormente. Na outra ponta do circuito, o terminal é denominado reto e nele será encaixado um isolador para posterior montagem do fogão no cliente final.

Do lado esquerdo tem-se o terminal tubular já crimpado no circuito e na direita, vê-se um ignitor cerâmico já acoplado no terminal tubular, juntamente com o pino metálico.

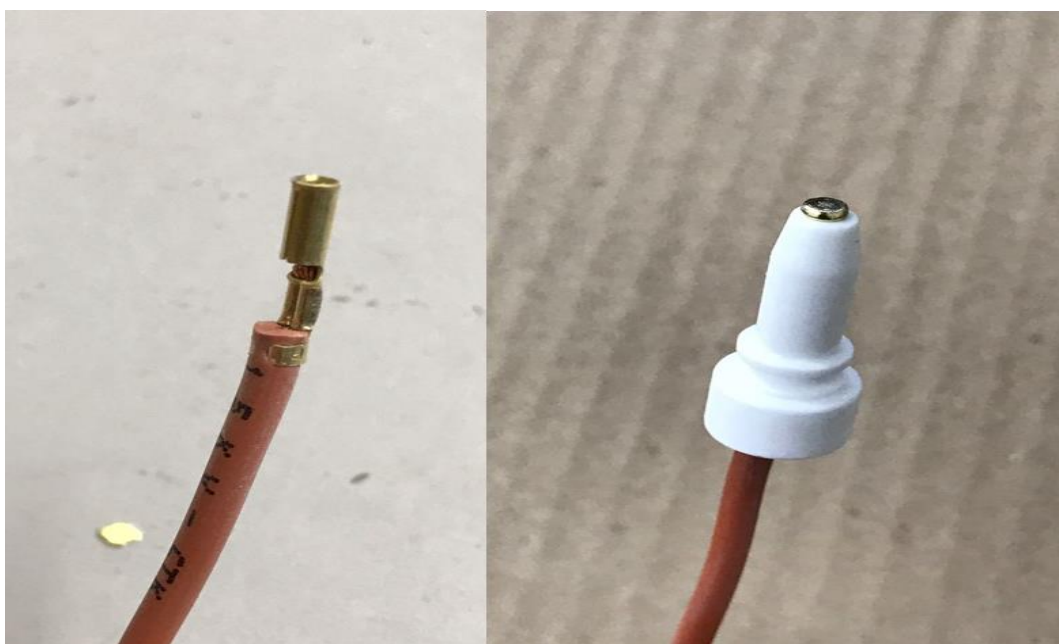


Imagem 2: Terminal tubular e ignitor cerâmico. , Fonte: O autor

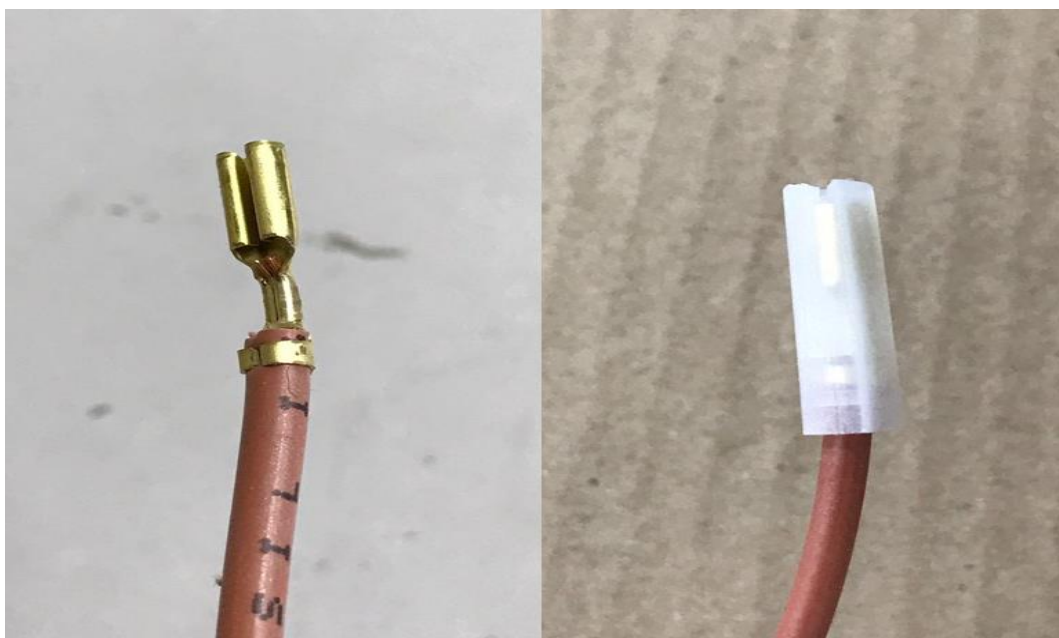


Imagem 3: Terminal reto e isolador plástico. , Fonte: O autor

Do lado esquerdo tem-se o terminal reto já crimpado no circuito e na direita, vê-se um isolador plástico já acoplado no terminal reto. A colocação do isolador plástico não será referida no projeto por ser um processo posterior ao do corte e crimpagem de circuitos.

Ambos os terminais são comprados em correntes. A máquina destaca um a um e faz o encaixe no ponto correto do circuito. Os terminais metálicos são dobrados e prensados no circuito, garantindo sua fixação. Esta etapa do processo é denominada crimpagem e é responsável pelos principais parâmetros controlados.

A produção de circuitos é feita baseada na previsão de necessidade da área de montagem de ignitores para a semana seguinte. Os circuitos são liberados de 100 em 100 unidades pela máquina, com os dois terminais já colocados, conforme mostrado na Imagem 4.



Imagem 4: Circuito de silicone pronto, Fonte: O autor

O dispositivo responsável pela colocação dos terminais é denominado mini – aplicador. Este é fabricado externamente e possui uma identificação do modelo e uma indicando um número individual e único para cada mini – aplicador. Existe também um visor mecânico em cada mini – aplicador, mostrando o número de “batidas”. Cada terminal aplicado conta como uma “batida” realizada pelo mini – aplicador. Este número serve para o controle tanto de manutenções preventivas como para o controle de qualidade de alguns clientes.



Imagem 5: Mini – aplicador usado na crimpagem de terminais, Fonte: O autor

3.2 Parâmetros controlados no processo

Os principais parâmetros controlados no processo são:

- Comprimento total do circuito: varia de acordo com a especificação do circuito e pode variar de 150mm a mais 1100mm (tolerância de $\pm 5\text{mm}$);
- Altura de crimpagem do terminal reto: seção onde o terminal reto é fixado no circuito. Esta medida pode variar de acordo com o código do terminal colocado.
- Altura de cravamento do terminal tubular: seção onde o terminal tubular é fixado no circuito. Esta medida pode variar de acordo com o código do terminal colocado.
- Força de tração no terminal reto: Força necessária para retirar o terminal reto do circuito. Esta força não varia em qualquer condição de tamanho ou material do circuito;
- Força de tração no terminal tubular: Força necessária para retirar o terminal tubular do circuito. Esta força não varia em qualquer condição de tamanho ou material do circuito;

O comprimento do fio é medido com o auxílio de uma régua fixada em uma mesa. O operador coleta 1 circuito a cada meia hora e anota seu comprimento na carta CEP. As alturas de crimpagem dos terminais são medidas com um paquímetro eletrônico e seus resultados também são anotados na carta CEP. A frequência destas medições é 1 circuito a cada 30 minutos.

As forças de tração são medidas em um dinamômetro específico para este fim. Ambos os terminais são medidos e os resultados são anotados na carta CEP. A frequência destas medições é menor, 1 medição em ambos os terminais a cada 2 horas.

Final do código do terminal	Tipo do terminal	Altura da cravação	Tolerâncias	Força de tração
859	Reto	1,30mm	$\pm 0,05\text{mm}$	64N
617	Reto	1,10mm	$\pm 0,05\text{mm}$	64N
616	Tubular	0,85mm	$\pm 0,05\text{mm}$	64N
615	Tubular	1,27mm	$\pm 0,05\text{mm}$	64N
697	Tubular	1,12mm	$\pm 0,05\text{mm}$	64N

Tabela 2: Valores de especificações do processo, Fonte: O autor

3.3 Processo e controles antes das ações do projeto

Antes de qualquer ação ou melhoria do projeto, o processo não possuía qualquer método de controle para qual mini - aplicador estava sendo usado na fabricação dos circuitos, isto é, era controlado apenas o modelo do mini – aplicador usado. Existem alguns mini – aplicadores com mais de um exemplar sendo usados no processo, com números muito diferentes de “batidas”. Isto foi identificado como um problema uma vez que se alguma anomalia no processo acontecesse e só fosse constatada alguns dias depois, com o produto já no cliente, não era possível fazer o rastreamento de qual mini – aplicador havia sido usado na fabricação e o problema não poderia ser resolvido.

A frequência amostral inicial era de 1 circuito a cada 30 minutos para as medições de comprimento, altura do cravamento do terminal reto e altura de cravamento do terminal tubular. Para os testes de força de tração dos dois terminais, 1 fio era coletado a cada 2 horas e ambos os lados eram testados.

Todas as medições eram anotadas manualmente em uma carta CEP impressa, causando muitas vezes ambiguidades de anotações, erros dos operadores e até mesmo perda de cartas com dados do processo. As cartas CEP impressas apenas mostravam os limites de especificação, não havia qualquer contato com os limites de controle do processo.

Apesar de naquela época os dados serem anotados manualmente em uma carta CEP impressa, os valores não eram plotados em qualquer tipo de gráfico para uma análise posterior, evidenciando mais uma falha de controle.

Atitudes eram tomadas apenas quando algum dos parâmetros verificado estava com uma grande frequência fora dos limites de especificação. Em outras palavras, as cartas CEP não tinham qualquer função preventiva para a tomada de ações.

Com todos esses fatores desfavoráveis, foram levantados os valores de rejeição de terminais tubulares, terminais retos e fios. Os valores são calculados referente aos dados coletados dos meses de abril, maio, junho e julho de 2017. Sendo estes valores os mostrados na tabela 3.

Componentes	Porcentagem rejeitada	Valor monetário
Terminal tubular	0,8872%	R\$ 250,00
Terminal reto	0,6686%	R\$ 160,00
Fio	0,6428%	R\$ 950,00

Tabela 3: Rejeitos por componentes do circuito antes do projeto, Fonte: O autor

Com as dados dos meses levantados, foi constatado um custo total dos rejeitos de aproximadamente 1360 reais por mês. Um dos índices que verificarão a efetividade do projeto será a análise destes índices de rejeição de cada um dos componentes do circuito, bem como o montante total equivalente.

3.4 Coleta inicial de dados do processo de corte e crimpagem

Para se obter um parâmetro de inicial de quão estável e sob controle o processo de corte e crimpagem estava, foi levantado um total de 10 cartas CEP de um dos produtos mais fabricados. Estas cartas são referentes às duas primeiras semanas do mês de outubro.

Com todas estas cartas CEP, um total de 320 valores para as alturas de crimpagem de cada um dos terminais e comprimento do circuito foram levantados.

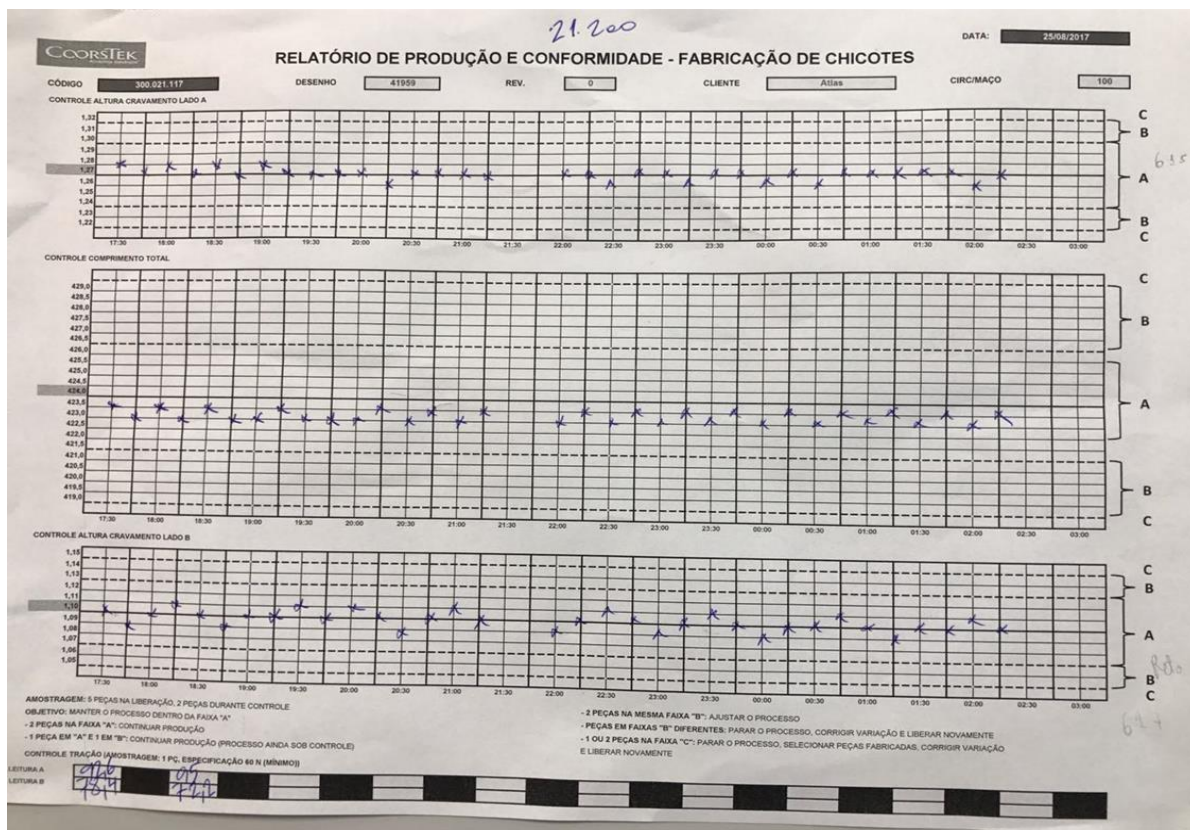


Imagem 6: Exemplo de carta CEP manuais, Fonte: O autor

O primeiro gráfico de controle desta carta é referente à altura da crimpagem do terminal tubular. O segundo gráfico se refere ao comprimento do circuito. O terceiro é semelhante ao primeiro, mostrando a altura da crimpagem do terminal reto. Os valores da tração são encontrados na parte inferior da folha, o primeiro é a tração do tubular e o segundo é a tração do terminal reto.

Os valores das forças de tração não foram analisados por falta de dados. Poucos dados eram gerados por dia e um estudo destes valores levaria mais tempo do que o projeto se propunha a levar.

Todos os dados foram colocados em uma planilha e analisados com o auxílio do Minitab, conforme mostrado na seção seguinte.

3.5 Análise estatística do processo antes das ações do projeto

Para efeitos de análises, cada subgrupo do comprimento e alturas de crimpagem era composto por duas medições (resultando em um subgrupo de tamanho 2 a cada meia hora).

Dia	Hora	Subgrupo	Comprimento 269 (mm)	Terminal Tubular - 615 (mm)	Terminal Reto - 617 (mm)
02/out	07:45	1	302	1,26	1,11
	08:00		303,5	1,29	1,11
02/out	08:15	2	302,5	1,27	1,12
	08:30		302	1,27	1,09
02/out	08:45	3	302	1,27	1,09
	09:00		302,5	1,27	1,11

Tabela 4: Plano de coleta de dados, Fonte: O autor

Foi escolhido uma operadora que faria a medição das peças e o preenchimento das cartas CEP. Ela foi treinada para que usasse corretamente o paquímetro e realizasse de maneira correta as anotações. Isso foi feito para que a maneira de se realizar as medições e as anotações não interferissem nas análises dos resultados, mascarando ou aumentando as variações.

A operadora foi instruída a anotar quaisquer limpezas da máquina ou dos mini-aplicadores e qualquer troca de ferramenta que ocorresse neste intervalo de tempo. Durante a coleta de dados, não houveram trocas ou quebras de ferramentas.

3.6 Análise do comprimento do circuito (código 269)

Após coletados os 320 dados o primeiro passo foi analisar os primeiros 32 subgrupos (2 dias) de forma a se chegar em valores aceitáveis e confiáveis para os limites de controle do processo.

Com o MiniTab, foi feita uma carta de controle (Média-Amplitude) para auxiliar a visualização dos dados. O tamanho do subgrupo é 2.

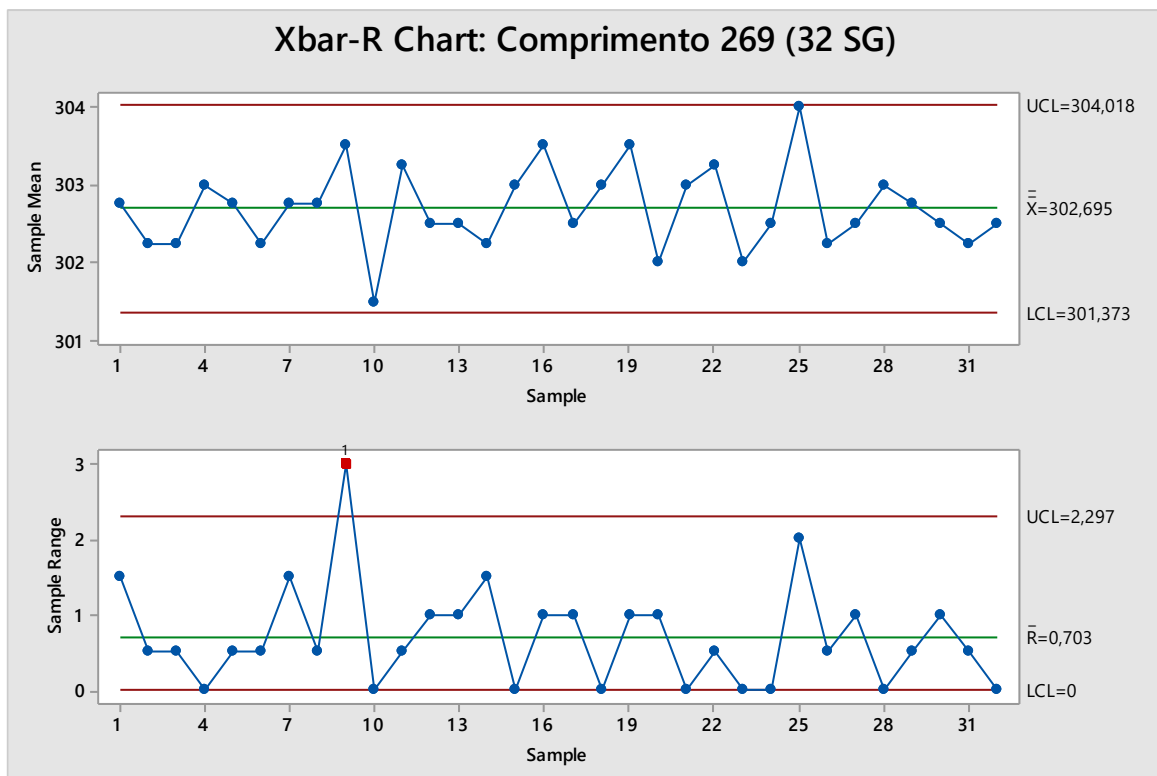


Gráfico 13: Média e amplitude: Comprimento circuito 269 – 32 subgrupos, Fonte: O autor

Um subgrupo, o de número 9, apresentou uma amplitude de 3, muito acima do limite superior de controle (2,297), fazendo com que ele fosse tirado desta etapa de análise.

O segundo passo foi plotar novamente os dados em uma carta de controle (Média-Amplitude), sem considerar o subgrupo 9.

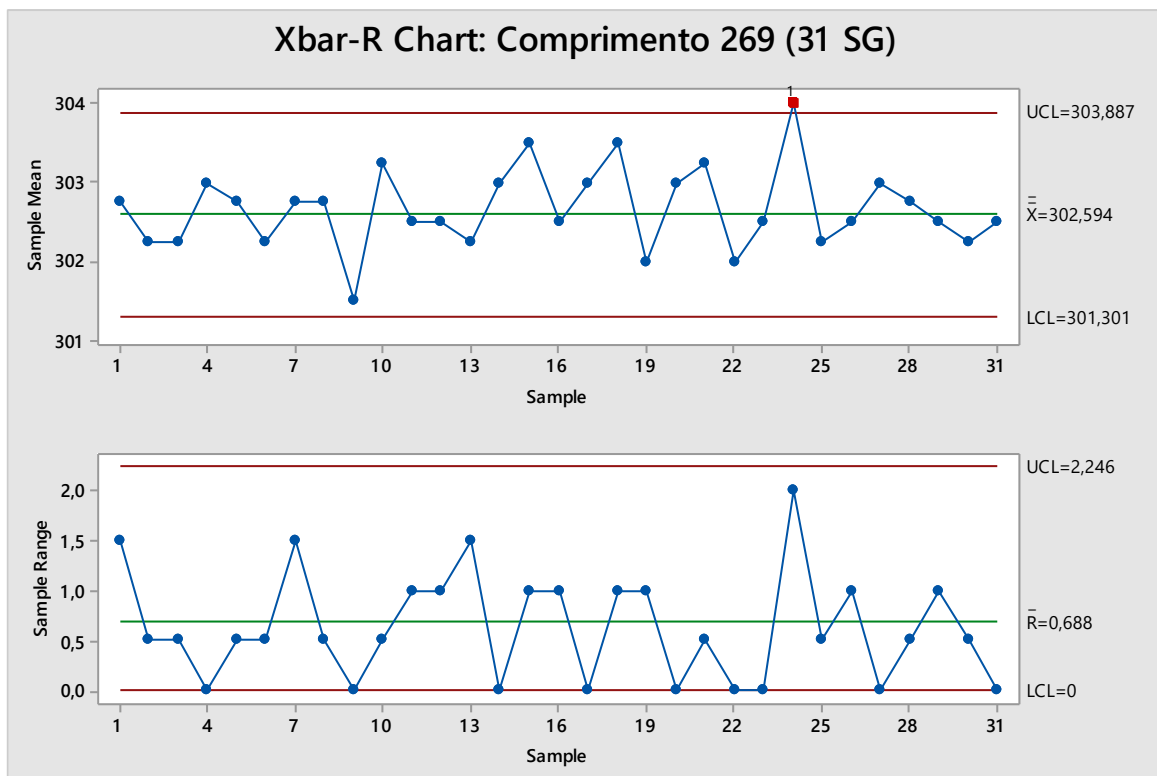


Gráfico 14: Média e amplitude: Comprimento circuito 269 – 31 subgrupos, Fonte: O autor

Aparentemente, estes 31 subgrupos podem ser usados para se determinar os limites de controle do processo. Este conjunto de dados não possui pontos fora dos limites de controle e não apresenta qualquer tendência. Apenas o subgrupo 24, com média de 304, está fora dos limites de controle e por ser um desvio pequeno, será considerado como dado confiável e continuará.

Sendo assim, tem-se que os limites de controle que serão usados são:

Gráfico de Média – LSC: 303,887

Gráfico de Média – LIC: 301,301

Gráfico da Amplitude – LSC: 2,246

Gráfico da Amplitude – LIC: 0

Tendo em mãos os limites de controle, o terceiro passo foi plotar todos os dados dos 160 subgrupos. Mais uma vez, uma carta de controle (Média-Amplitude) foi feita no MiniTab.

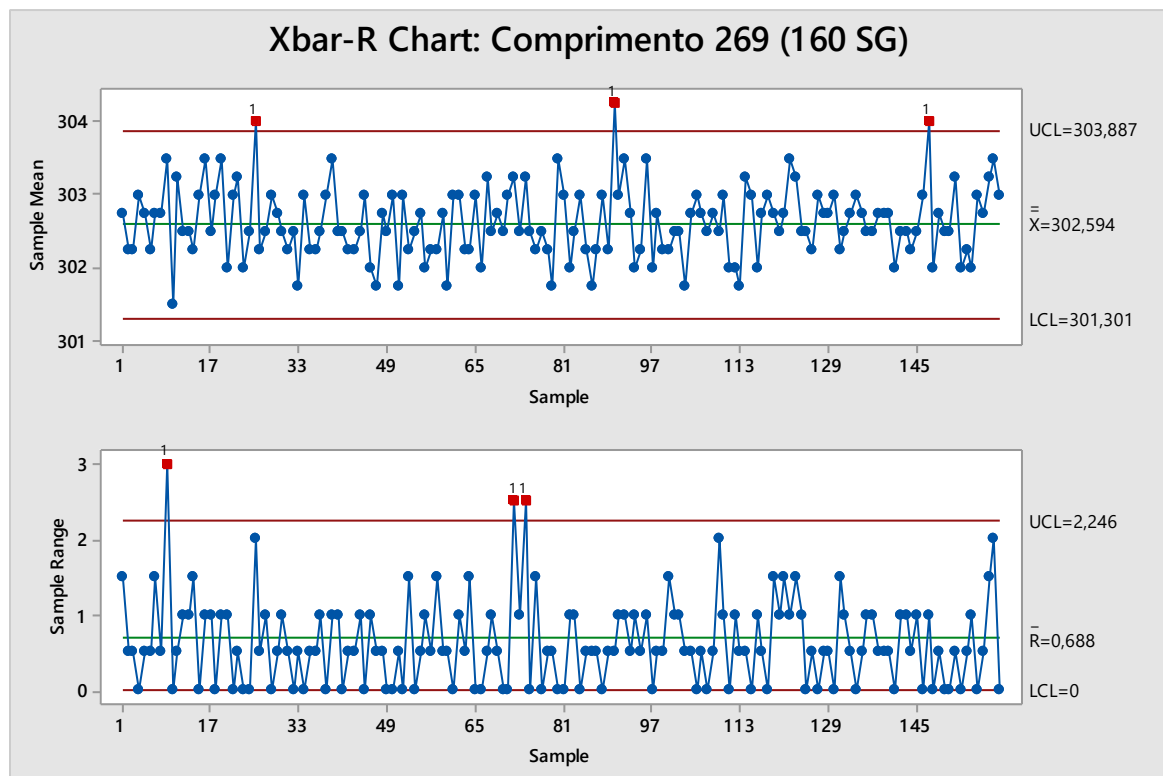


Gráfico 15: Média e amplitude: Comprimento circuito 269 – 160 subgrupos, Fonte: O autor

Observando a distribuição dos dados, percebe-se que poucos pontos estão fora dos limites de controle, apenas 3 no gráfico de Média e 3 no gráfico de Amplitude. Além disso, estes pontos não são dos mesmos subgrupos e não aparentam qualquer relação entre eles. Não há tendências e aconteceram em dias e períodos do dia distintos. Sendo assim, são considerados apenas variações mais acentuadas porém não causadas por causas especiais.

Para continuar a análise do processo de corte e crimpagem, foi feito uma análise de capacidade com os mesmos dados plotados nos gráficos anteriores. Os valores do limites de especificação foram:

LSE: 308mm Nominal: 303mm LIE: 298mm

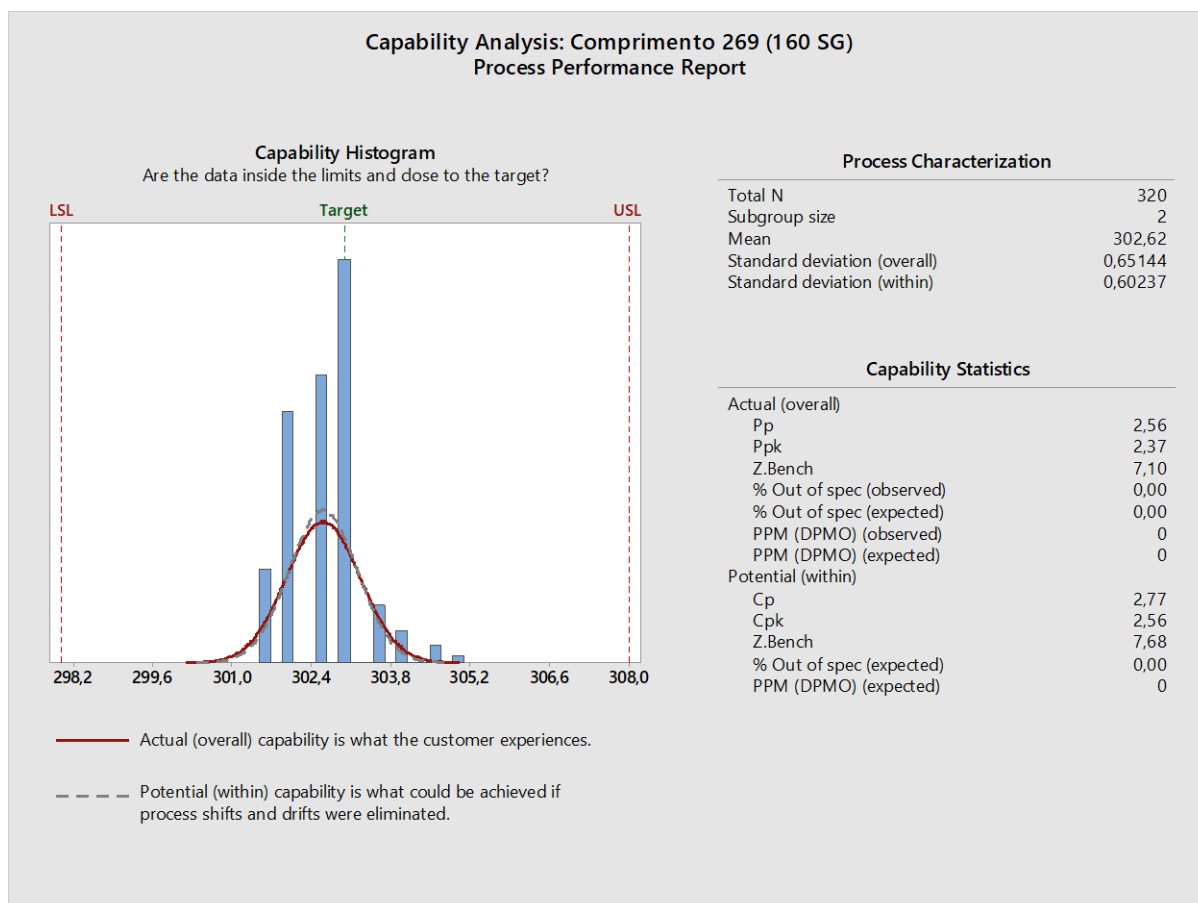


Gráfico 16: Análise de capacidade: Comprimento circuito 269 – 160 subgrupos,
Fonte: O autor

Como é possível observar no gráfico acima, apesar de possuir variações naturais, o processo não se mostra incapaz de atingir as especificações. Contudo, olhando para o histograma, é possível ver que os dados não estão simetricamente distribuídos em relação ao valor nominal, isto é, 54% dos dados é menor que 303mm e 11% é maior. Isso é verificado também na média obtida, 302,62mm, deixando clara uma necessidade de ajuste.

Capacidade	Cp	2,77	Cp > 1,33 => Capaz
	Cpk	2,56	Cpk > 1,33 => Capaz
Performance	Pp	2,56	Pp > 1,33 => Capaz
	Ppk	2,37	Ppk > 1,33 => Capaz

Tabela 5: Capabilidade e performance (antes do projeto): Comprimento circuito 269,

Fonte: O autor

Por fim, com todas estas análises realizadas, foi constatado que para este parâmetro, o processo se mostrou plenamente capaz. Vale ressaltar que, em processos muito estáveis, o índice do Cp se aproxima ao Pp e o Cpk se aproxima ao Ppk. No caso do parâmetro analisado, verifica-se que esta aproximação não é muito forte, mostrando que ainda há uma variação no processo, apesar desta ser, aparentemente, natural.

3.7 Análise da altura de crimpagem do terminal tubular

Após coletados os 320 dados o primeiro passo, mais uma vez, foi analisar os primeiros 32 subgrupos (2 dias) de forma a se chegar em valores aceitáveis e confiáveis para os limites de controle do processo.

Com o MiniTab, foi feita uma carta de controle (Média-Amplitude) para auxiliar a visualização dos dados. O tamanho do subgrupo é 2.

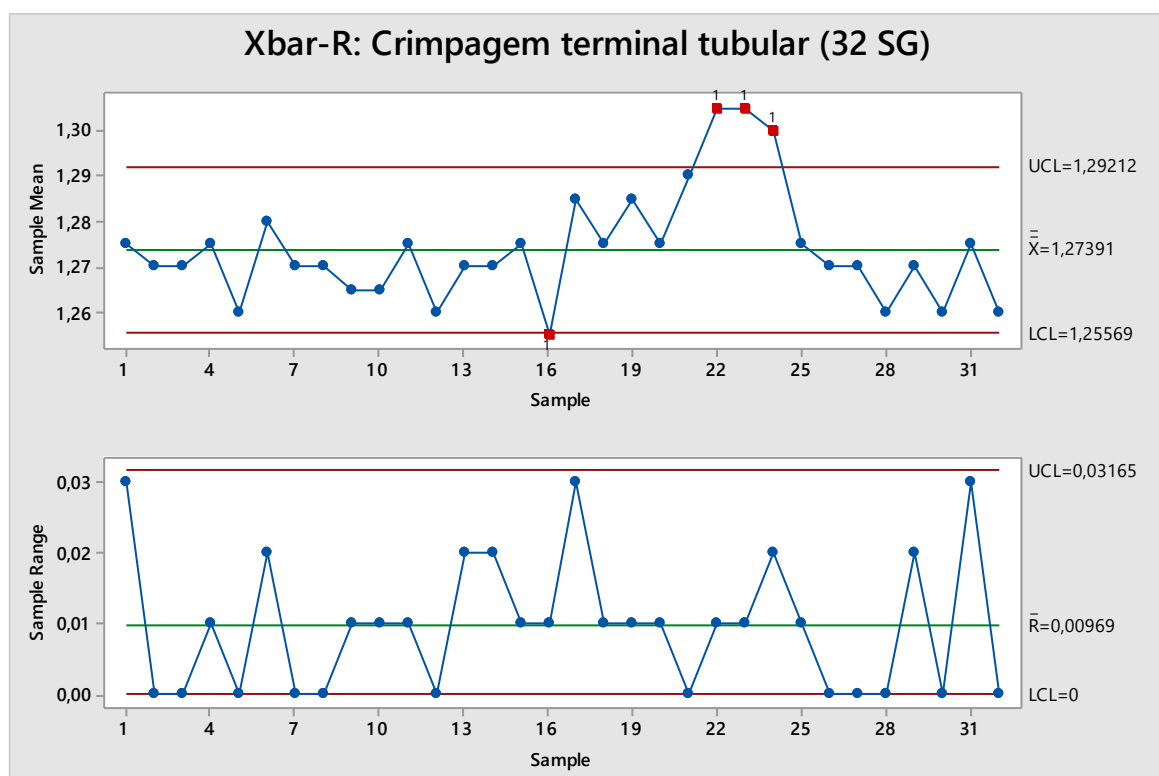


Gráfico 17: Média e amplitude: Altura de crimpagem terminal tubular – 32 subgrupos, Fonte: O autor

Como é possível ver no gráfico de Média, os subgrupos 22, 23 e 24 estão bem fora dos limites de controle. Desta maneira, um novo gráfico Média-Amplitude será feito e estes 3 subgrupos não serão considerados para sua construção.

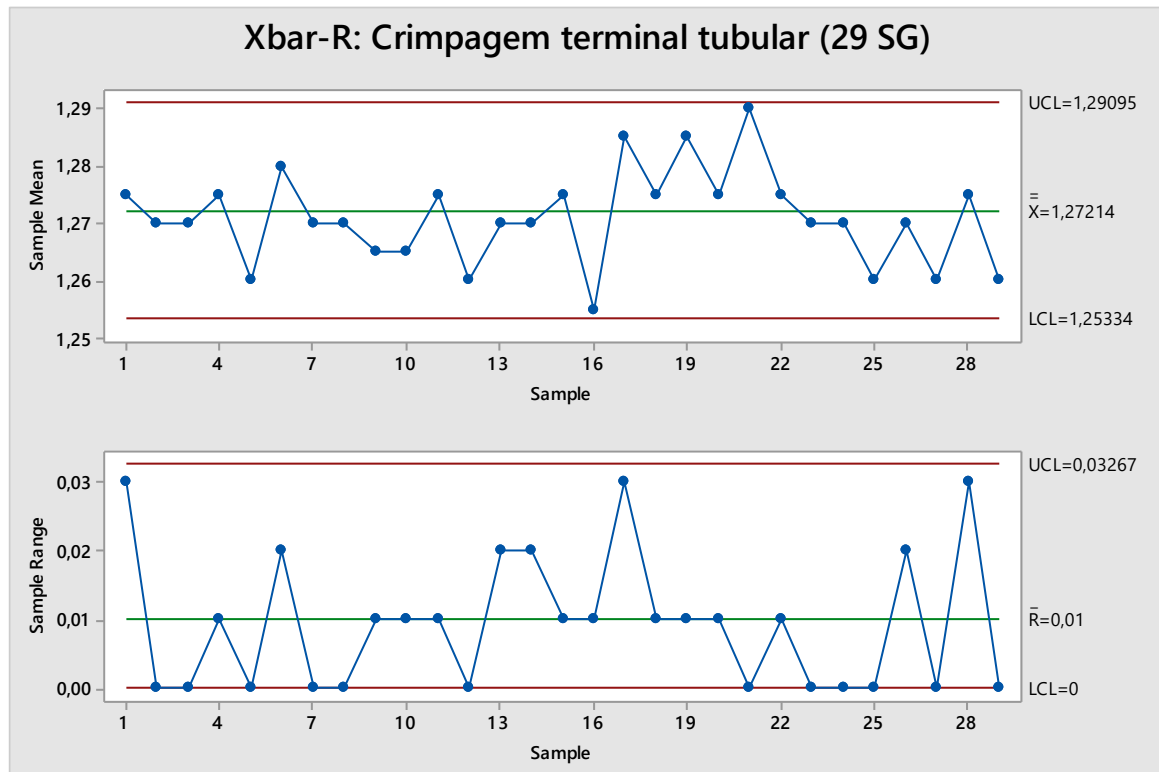


Gráfico 18: Média e amplitude: Altura de crimpagem terminal tubular – 29 subgrupos, Fonte: O autor

Aparentemente, estes 29 subgrupos podem ser usados para se determinar os limites de controle do processo. Este conjunto de dados não possui pontos fora dos limites de controle e não apresenta qualquer tendência.

Sendo assim, tem-se que os limites de controle que serão usados são:

Gráfico de Média – LSC: 1,29095

Gráfico de Média – LIC: 1,25334

Gráfico da Amplitude – LSC: 0,03267

Gráfico da Amplitude – LIC: 0

Tendo em mãos os limites de controle, o terceiro passo foi plotar todos os dados dos 160 subgrupos. Mais uma vez, uma carta de controle (Média-Amplitude) foi feita no MiniTab.

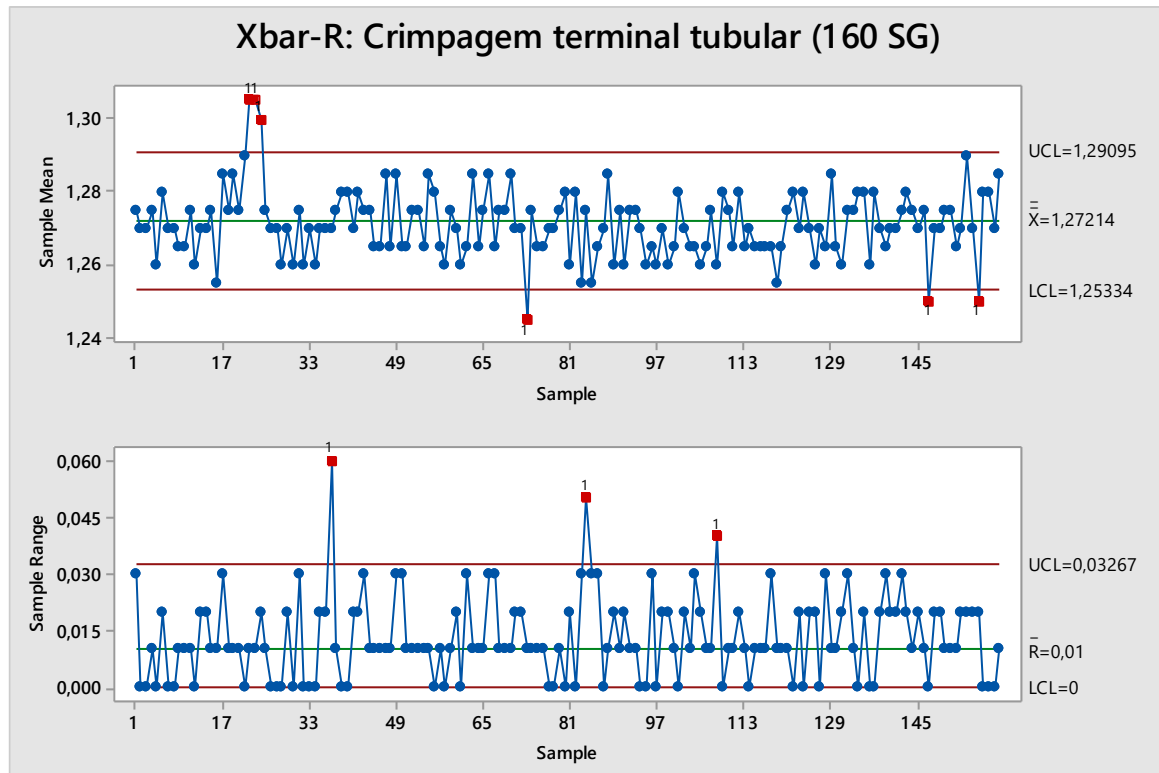


Gráfico 19: Média e amplitude: Altura de crimpagem terminal tubular – 160 subgrupos, Fonte: O autor

Observando a distribuição dos, percebe-se que poucos pontos estão fora dos limites de controle, apenas 6 no gráfico da Média e 3 no gráfico da Amplitude. Contudo, vendo os subgrupos 22, 23 e 24, que foram tirados na determinação dos limites de controle, percebe-se que ainda estão fora. Pegando-se as anotações da operadora, consta que neste dia foi feito uma limpeza no mini-aplicador. Aparentemente, resíduos dos terminais crimpados podem ter ficado no mini-aplicador e prejudicado seu funcionamento. Os outros subgrupos que estão fora dos limites de controle não apresentam qualquer relação. Não há tendências e aconteceram em dias e períodos do dia distintos. Sendo assim, são considerados apenas variações mais acentuadas porém não causadas por causas especiais.

Para continuar a análise do processo de corte e crimpagem, foi feito uma análise de capacidade com os mesmos dados plotados nos gráficos anteriores. Os valores do limites de especificação foram:

LSE: 1,32mm Nominal: 1,27mm LIE: 1,22mm

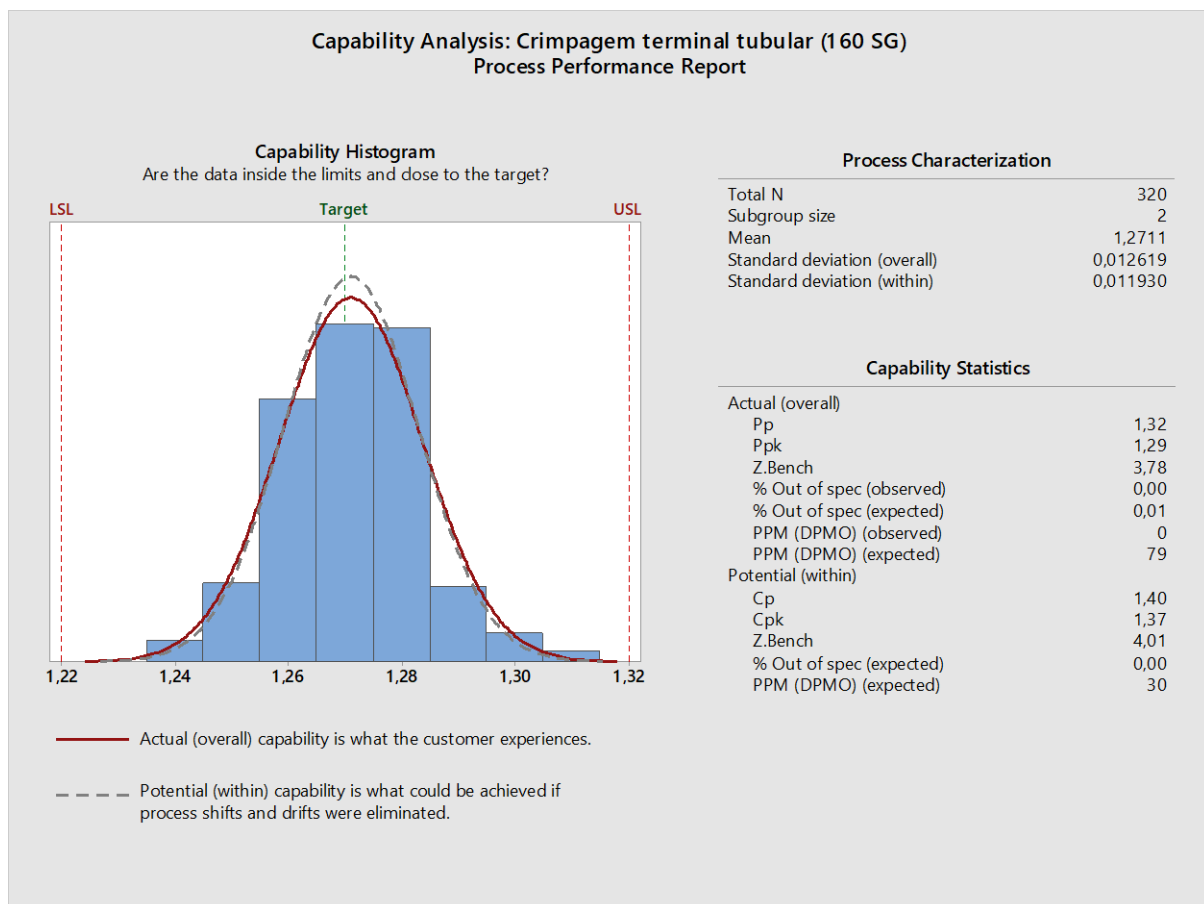


Gráfico 20: Análise de capacidade: Altura de crimpagem terminal tubular – 160 subgrupos, Fonte: O autor

Pelo gráfico acima, vê-se uma média bem centrada no valor nominal de especificação (1,27mm). Apesar disso, o processo apresenta uma variação acentuada, levando seus índices de capacidade e performance à valores bem próximos do limite entre aceitável e capaz. Visando arrumar isso, ajudastes e regulagens devem ser feitos na máquina.

Capacidade	Cp	1,40	Cp > 1,33 => Capaz
	Cpk	1,37	Cpk > 1,33 => Capaz
Performance	Pp	1,32	Pp < 1,33 e > 1 => Aceitável
	Ppk	1,29	Pp < 1,33 e > 1 => Aceitável

Tabela 6: Capacidade e performance (antes do projeto): Altura de crimpagem terminal tubular, Fonte: O autor

3.8 Análise da altura de crimpagem do terminal reto

Após coletados os 320 dados o primeiro passo, novamente, foi analisar os primeiros 32 subgrupos (2 dias) de forma a se chegar em valores aceitáveis e confiáveis para os limites de controle do processo.

Com o MiniTab, foi feita uma carta de controle (Média-Amplitude) para auxiliar a visualização dos dados. O tamanho do subgrupo é 2.

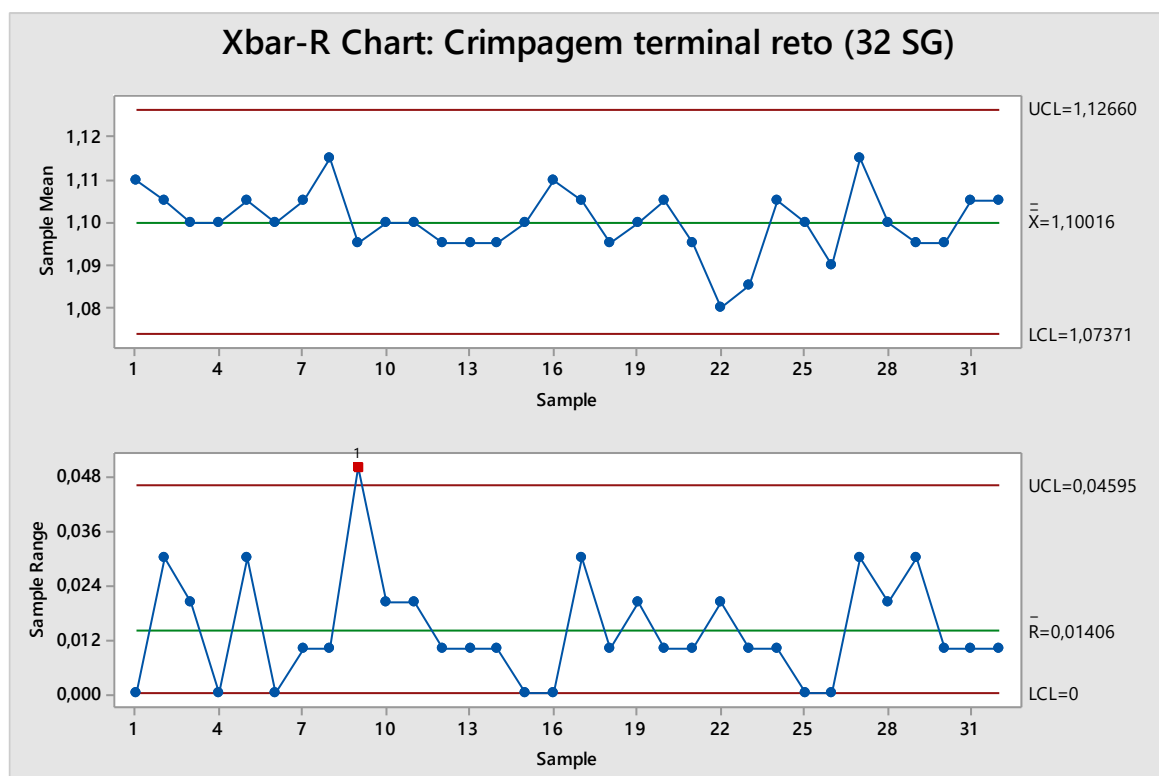


Gráfico 21: Média e amplitude: Altura de crimpagem terminal reto – 32 subgrupos, Fonte: O autor

Um subgrupo, o de número 9, apresentou uma amplitude de 0.05, muito pouco acima do limite superior de controle (0.04595), fazendo com que ele não fosse tirado desta etapa de análise.

Aparentemente, estes 32 subgrupos podem ser usados para se determinar os limites de controle do processo. Este conjunto de dados não possui pontos fora dos limites de controle e não apresenta qualquer tendência. Apenas o subgrupo 9, como mencionado acima, que será considerado como dado confiável e continuará.

Sendo assim, tem-se que os limites de controle que serão usados são:

Gráfico da Média – LSC: 1,12660

Gráfico da Média – LIC: 1,07371

Gráfico da Amplitude – LSC: 0,04595

Gráfico da Amplitude – LIC: 0

Tendo em mãos os limites de controle, o segundo passo foi plotar todos os dados dos 160 subgrupos. Mais uma vez, uma carta de controle (Média-Amplitude) foi feita no MiniTab.

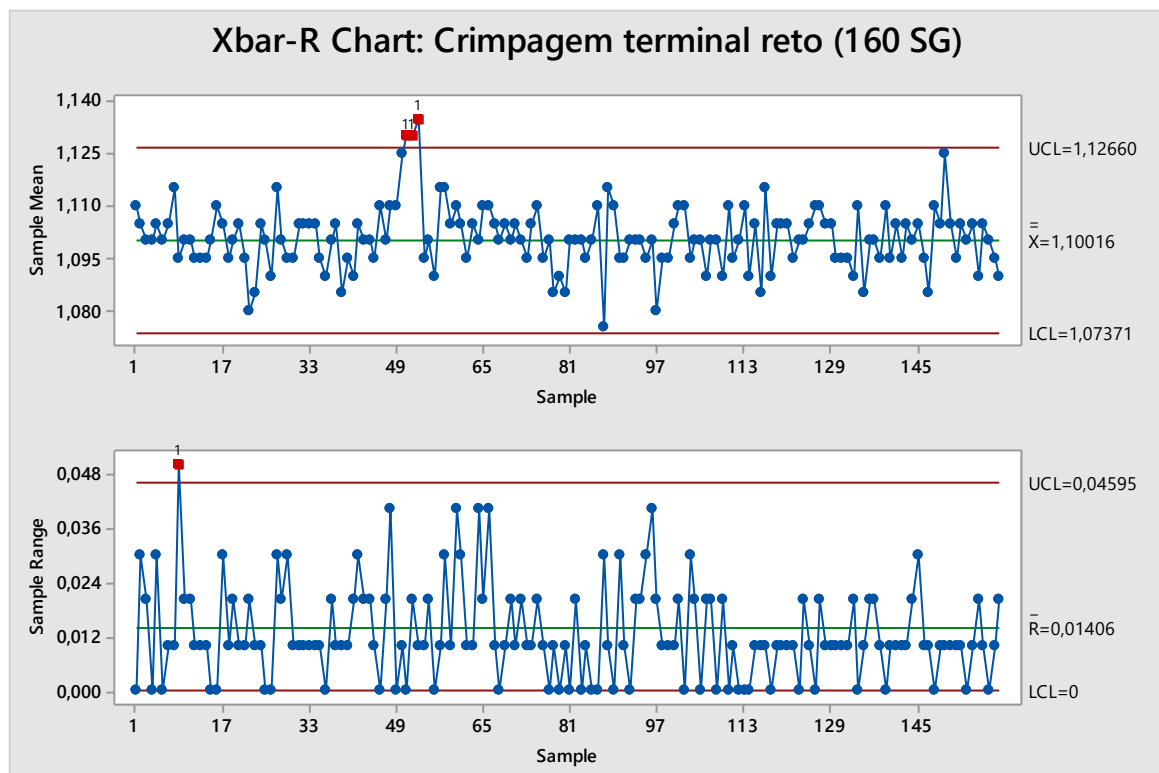


Gráfico 22: Média e amplitude: Altura de crimpagem terminal reto – 160 subgrupos,

Fonte: O autor

Observando a distribuição dos dados, percebe-se que poucos pontos estão fora dos limites de controle, apenas 3 no gráfico da Média e 1 no gráfico da Amplitude. Contudo, 3 pontos (subgrupos 51, 52 e 53) apresentam valores acima do limite superior de controle. Olhando no gráfico da Média, percebe-se claramente que algo anormal causou aquela variação.

Para verificar o que houve, usou-se as anotações da operadora, onde estava escrito que nesse dia houveram problemas com o mini-aplicador e que foi necessária uma limpeza com um pincel. Problemas assim ocorrem pois o rompimento entre o terminal e o filamento metálico onde ele vem preso pode gerar pequenos resíduos que se acumulam, atrapalhando assim o grampo e a bigorna do mini aplicador no momento da crimpagem.

Para continuar a análise do processo de corte e crimpagem, foi feito uma análise de capacidade com os mesmos dados plotados nos gráficos anteriores. Os valores do limites de especificação foram:

LSE: 1,15mm

Nominal: 1,10mm

LIE: 1,05mm

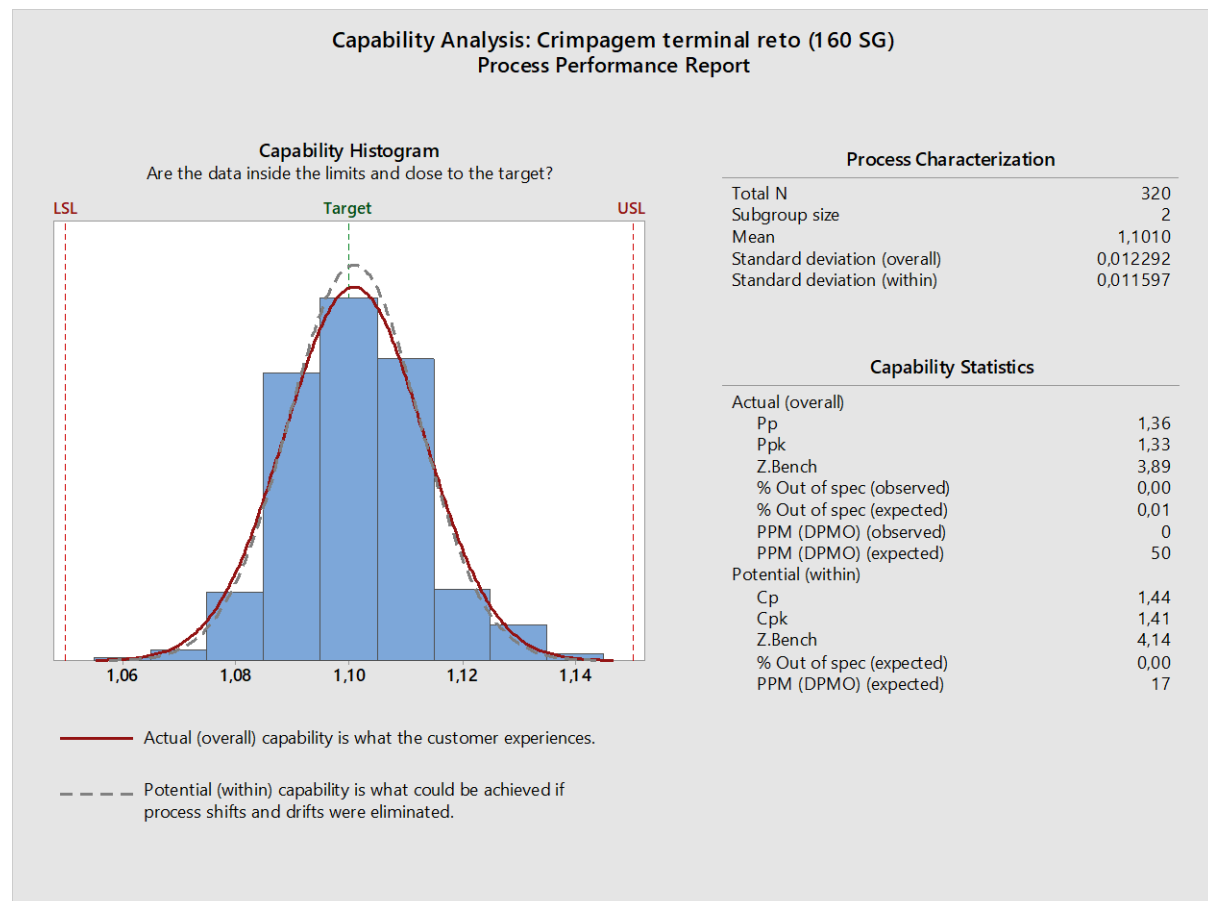


Gráfico 23: Análise de capacidade: Altura de crimpagem terminal reto – 160 subgrupos, Fonte: O autor

Como é possível observar no gráfico acima, apesar de possuir variações naturais, o processo não se mostra incapaz de atingir as especificações. Contudo, os valores da capacidade e performance do processo se encontram perto do limite entre aceitável e capaz.

Capacidade	Cp	1,44	Cp > 1,33 => Capaz
	Cpk	1,41	Cpk > 1,33 => Capaz
Performance	Pp	1,36	Pp > 1,33 => Capaz
	Ppk	1,33	Ppk > 1,33 => Capaz

Tabela 7: Capacidade e performance (antes do projeto): Altura de crimpagem terminal reto, Fonte: O autor

Por fim, com todas estas análises realizadas, foi constatado que para este parâmetro, o processo se mostrou capaz. Vale ressaltar que uma ação deve ser tomada para evitar o acúmulo destes resíduos metálicos no mini-aplicador. Ações que reduzam a variação natural do processo também são bem vindas para que os índices de capacidade e performance melhorem e se distanciem do limite entre aceitável e capaz.

3.9 Propostas de melhorias identificadas

A partir das análises realizadas nos três parâmetros, foi possível identificar algumas oportunidades de melhorias.

Com a análise do comprimento dos circuitos, foi possível observar que a média estava um pouco alterada para baixo, 302,62mm. Visando solucionar isto, a operadora do processo foi instruída à realizar uma leve regulagem na máquina para tentar trazer a média do processo o mais próximo de 303mm possível.

Através da análise das alturas de crimpagem dos terminais, ficou bem evidente a necessidade de uma rotina de limpeza mais frequente dos mini-aplicadores. Foram comprados pinceis novos e a operadora foi instruída a fazer

duas limpezas semanais ou quando sentisse alguma necessidade no decorrer da sua rotina.

Ainda pela análise das alturas de crimpagem dos terminais, foi possível verificar que os índices de capacidade e performance não se mostraram tão altos, deixando claro que alguns ajustes na máquina poderiam surtir em algum resultado.

Estes ajustes foram feitos na máquina para tentar reduzir a variação natural do processo através de ajustes em todos os parâmetros da máquina. Com relação as ferramentas usadas no processo, foi determinada uma rotina para identificar quando uma ferramenta já estava gasta e não se encontrava mais conforme para uso.

Ainda referente às ferramentas, a operadora foi instruída a realizar a lubrificação dos mini-aplicadores mais frequentemente. As lubrificações eram feitas, em média, a cada 4 meses e passaram a ser feitas a cada 2 meses. A lubrificação dos dois mini-aplicadores usados neste projeto foi a primeira a ser feita, após as primeiras medições do projeto, para que seu possível resultado fosse averiguado.

Vale ressaltar que esta lubrificação mais frequente dos mini-aplicadores pode ajudar tanto na redução da variação do processo como também na diminuição do esforço da máquina e do desgaste das ferramentas.

Por fim, para aumentar o controle do processo e a agilidade de se perceber quaisquer variações anormais, foi implementado um software de controle estatístico de processo chamado InfinityQS. A intenção da utilização deste software é o acompanhamento, quase que em tempo real, da qualidade do processo de corte e crimpagem. Acompanhamento este que ajudará muito na tomada de ações precisas e imediatas para que eventuais variações no nosso processo não cheguem na forma de problemas para os clientes.

3.10 Software InfinityQS

InfinityQS é um software norte americano utilizado para gerenciar e controlar processos através do Controle Estatístico do Processo. Seu principal objetivo é auxiliar o controle das variações de um processo, fazendo com que a qualidade deixe de ser um problema e passe a ser uma vantagem competitiva.

A primeira etapa do software é criar uma configuração de entrada de dados, onde são definidas as características da coleta de dados, como o tamanho amostral, a frequência de coleta de cada variável, suas unidades, entre outras. Também é nesta etapa que se cadastra as máquinas do processo a ser controlado.

Ainda nas configurações de entrada de dados do software, são “cadastrados” todos os tipos de produtos a serem controlados. No caso deste projeto, foram cadastrados todos os códigos de circuitos fabricados.

Em seguida, foram criados os testes para cada variável, isto é, um teste específico para cada característica a ser medida. Também se escolhe o tipo de gráfico que será usado em cada análise para cada variável.

Depois de escolhidos os gráficos para a análise, o administrador cadastra todos os limites de especificação para cada característica controlada, para cada peça.

Feitas estas etapas, atalhos são criados na interface do software para facilitar a entrada de dados pelo operador. Para este usuário final, resta apenas fazer as medições corretamente, escolher o código do produto que foi fabricado e a máquina que foi usada na sua produção e cadastrar os dados no software.

Os dados vão sendo armazenados e cartas CEP separadas são criadas para cada produto e para cada máquina. Os dados são salvos no sistema e anexados à eles vai, automaticamente, a data e a hora que ele foi colocado.

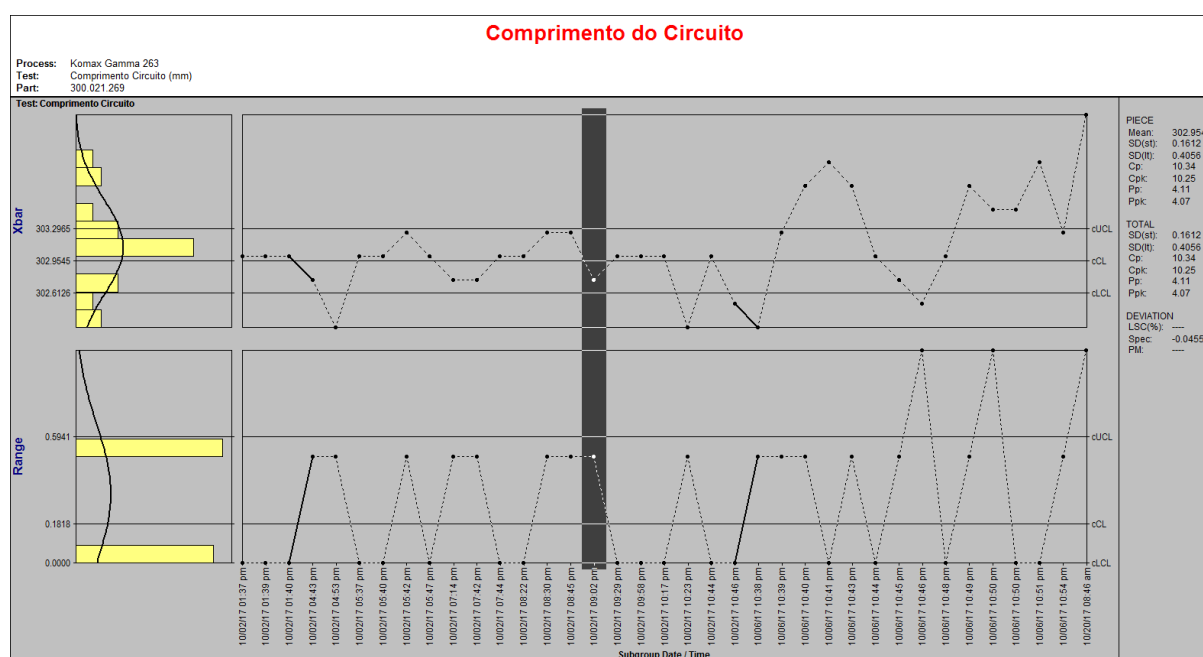


Imagem 7: Software InfinityQS – Comprimento do circuito, Fonte: O autor

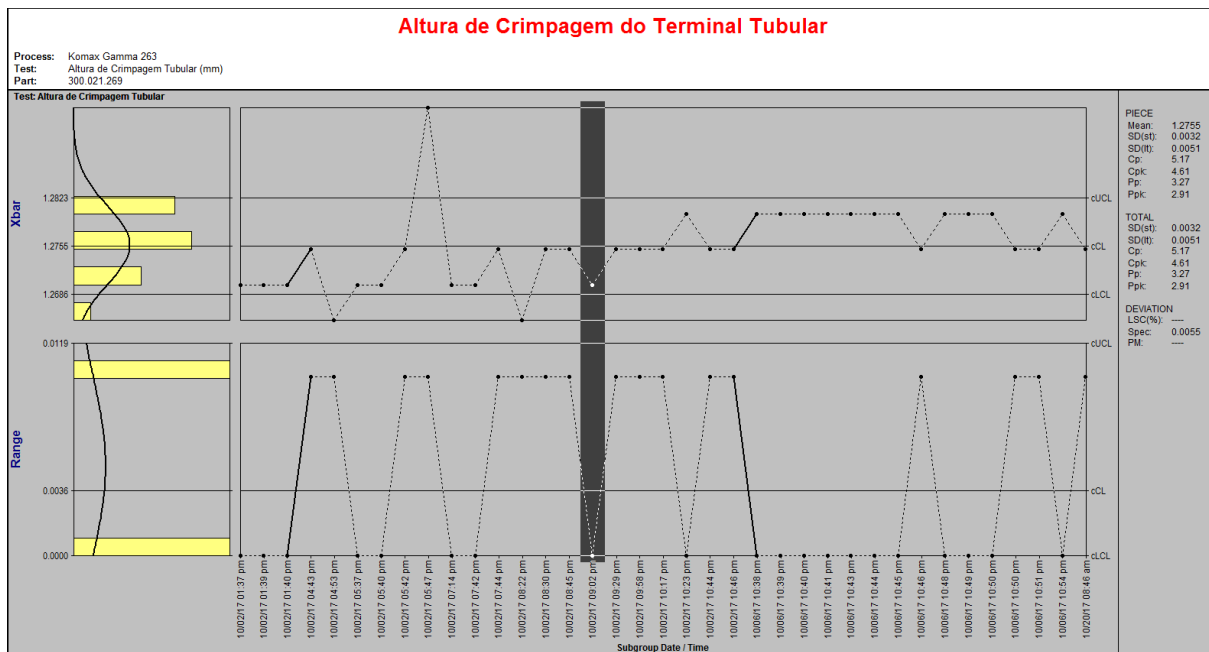


Imagem 8: Software InfinityQS – Altura de crimpagem do terminal tubular, Fonte: O autor

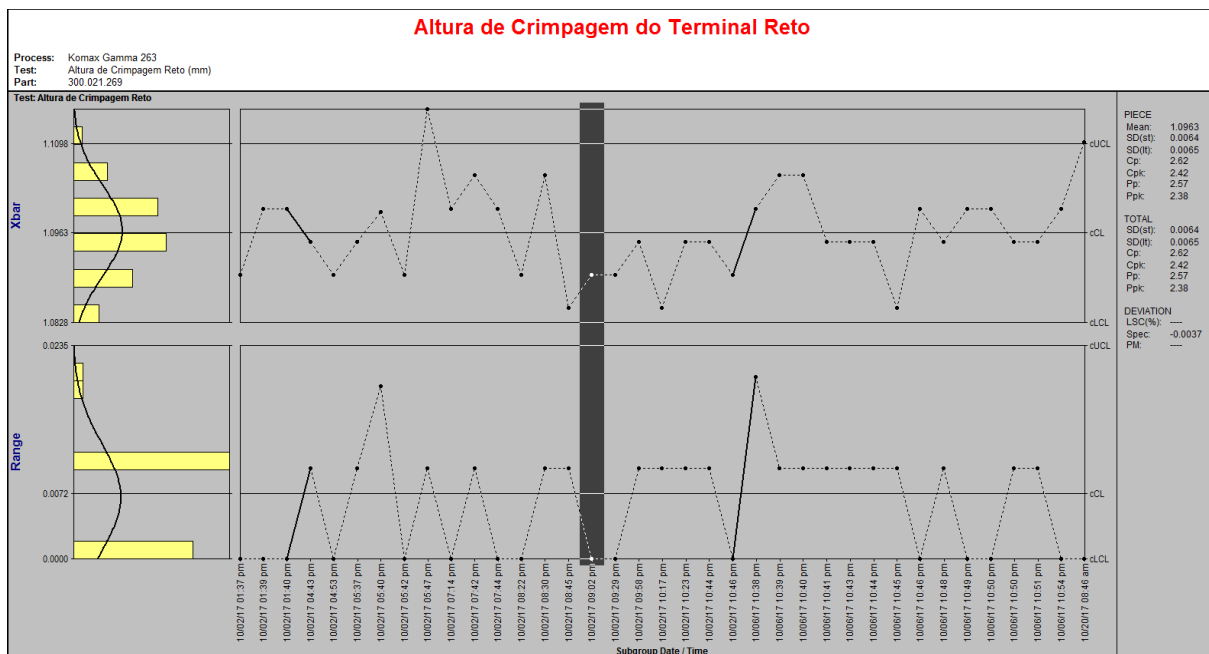


Imagem 9: Software InfinityQS – Altura de crimpagem do terminal reto, Fonte: O autor

A partir de entrados e separados por máquina e produto, os dados são compilados e gráficos de controle, ou qualquer outro que foi escolhido anteriormente,

são gerados automaticamente. Há a possibilidade de ativar alarmes ou sinais visuais caso algum dos dados entrados no sistema esteja fora dos limites de especificação.

Com os dados compilados no InfinityQS, o administrador pode realizar uma variedade enorme de análises a partir deles, auxiliando na detecção de descontroles no processo e causas especiais de variação.

Como gráficos são gerados em diferentes categorias (máquina, operador, turno, produto) é possível avaliar e analisar os dados de diferentes formas, o que ajuda muito na descoberta da causa raiz e nas ações corretivas necessárias.

Alarm Notification Rules - Record ID: 1508941389

Alarm Rule Assignments

A. Process Name: **Komax Gamma 333** ...

B. Test Name: **Comprimento Circuito** ...

C. Chart Type: **Average X (XBar)** ...

D. Processing: **Traditional** ...

E. Notification Rules:

Below Lower Control Limit	<Enabled>
2 out of 3 in or above UZA	
2 out of 3 in or below LZA	
4 out of 5 in or above UZB	
4 out of 5 in or below LZB	
8 Above Center Line	<Enabled>
8 Below Center Line	<Enabled>
15 Within Zone C	
8 Avoiding Zone C	
6 Consecutive Points Rising	<Enabled>
6 Consecutive Points Falling	<Enabled>
14 Points Oscillating Up/Dn	<Enabled>

E. Toggle G. Set All H. Clear All

Close Restore Save Delete Copy Paste Help

Imagem 10: Software InfinityQS – Regras de alerta, Fonte: O autor

Essas regras são as discutidas na Seção 2 deste trabalho e são ativadas quando os dados compilados no software apresentam essas tendências.

3.11 Coleta e análise dos dados pós melhorias e mudanças

Após todas as mudanças e melhorias descritas anteriormente terem sido aplicadas, foi necessário fazer uma nova coleta de dados para que as análises mostrem sua efetividade. Outras duas semanas foram observadas e 320 novos dados foram gerados.

3.12 Análise do comprimento do circuito (código 269) (pós melhorias)

O primeiro passo foi analisar os primeiros 32 subgrupos (2 dias) de forma a se chegar em valores aceitáveis e confiáveis para os limites de controle do processo.

Com o MiniTab, foi feita uma carta de controle (Média-Amplitude) para auxiliar a visualização dos dados. O tamanho do subgrupo é 2.

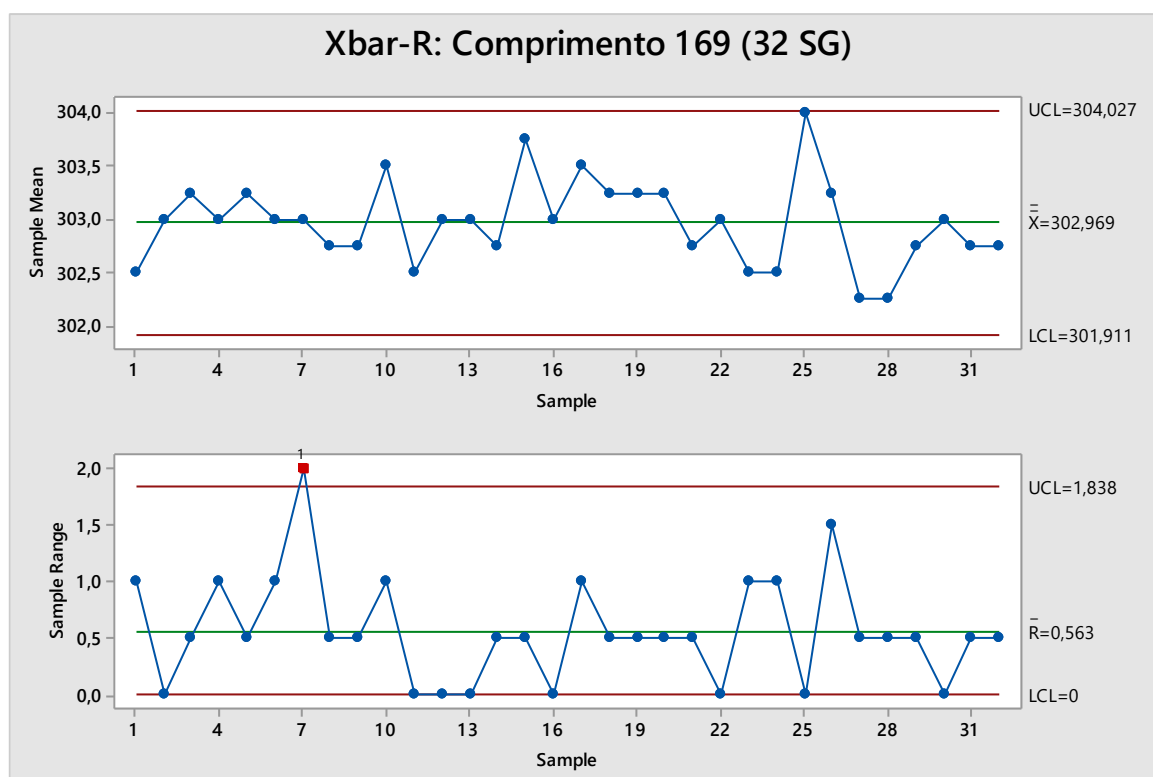


Gráfico 24: Média e amplitude: Comprimento circuito 269 – 32 subgrupos, Fonte: O autor

Um subgrupo, o de número 7, apresentou uma amplitude de 2mm, muito pouco acima do limite superior de controle (1,838), justificando assim que este subgrupo continue na próxima etapa da análise dos dados.

Aparentemente, estes 32 subgrupos podem ser usados para se determinar os limites de controle do processo. Este conjunto de dados não possui pontos muito fora dos limites de controle e não apresenta qualquer tendência.

Sendo assim, tem-se que os limites de controle que serão usados são:

Gráfico da Média – LSC: 304,027

Gráfico da Média – LIC: 301,911

Gráfico da Amplitude – LSC: 1,838

Gráfico da Amplitude – LIC: 0

Tendo em mãos os limites de controle, o segundo passo foi plotar todos os dados dos 160 subgrupos. Mais uma vez, uma carta de controle (Média-Amplitude) foi feita no MiniTab.

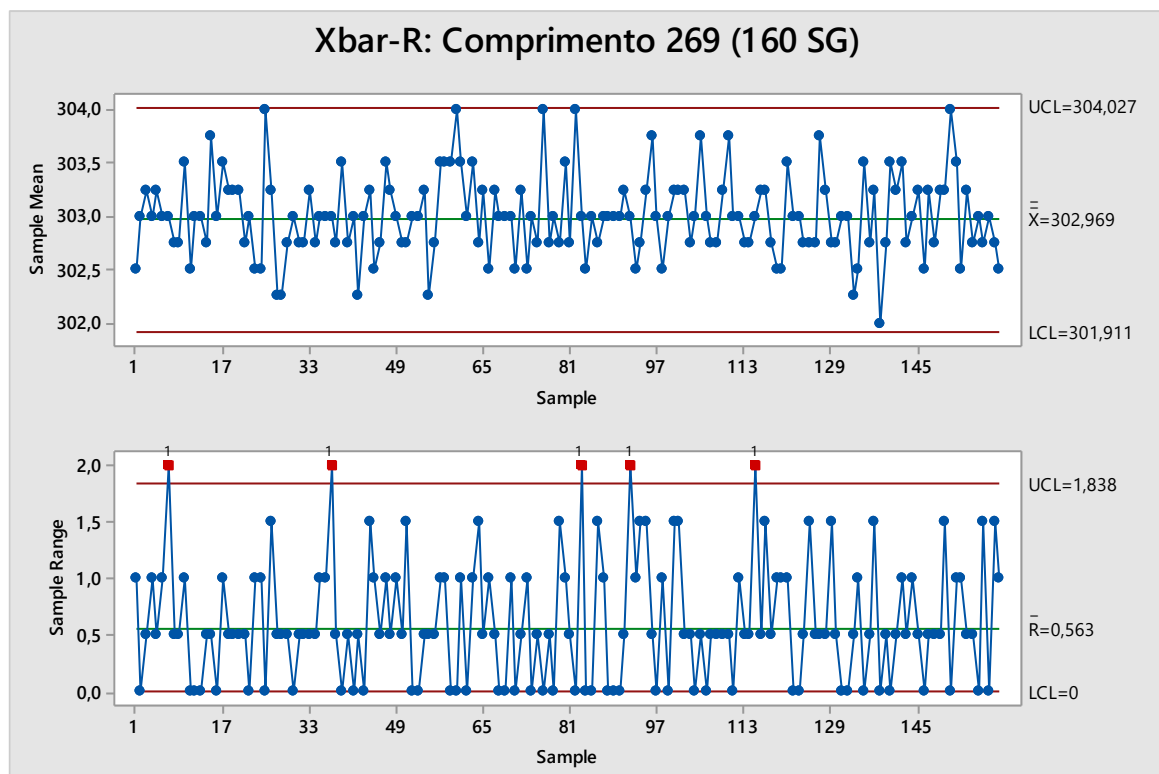


Gráfico 25: Média e amplitude: Comprimento circuito 269 – 160 subgrupos, Fonte: O autor

Observando a distribuição dos dados, percebe-se que poucos pontos estão fora dos limites de controle, 5 no R. Além disso, estes pontos não são dos mesmos subgrupos e não aparentam qualquer relação entre eles. Não há tendências e aconteceram em dias e períodos do dia distintos. Sendo assim, são considerados apenas variações mais acentuadas porém não causadas por causas especiais.

Para continuar a análise do processo de corte e crimpagem, foi feito uma análise de capacidade com os mesmos dados plotados nos gráficos anteriores. Os valores do limites de especificação foram:

LSE: 308mm Nominal: 303mm LIE: 298mm

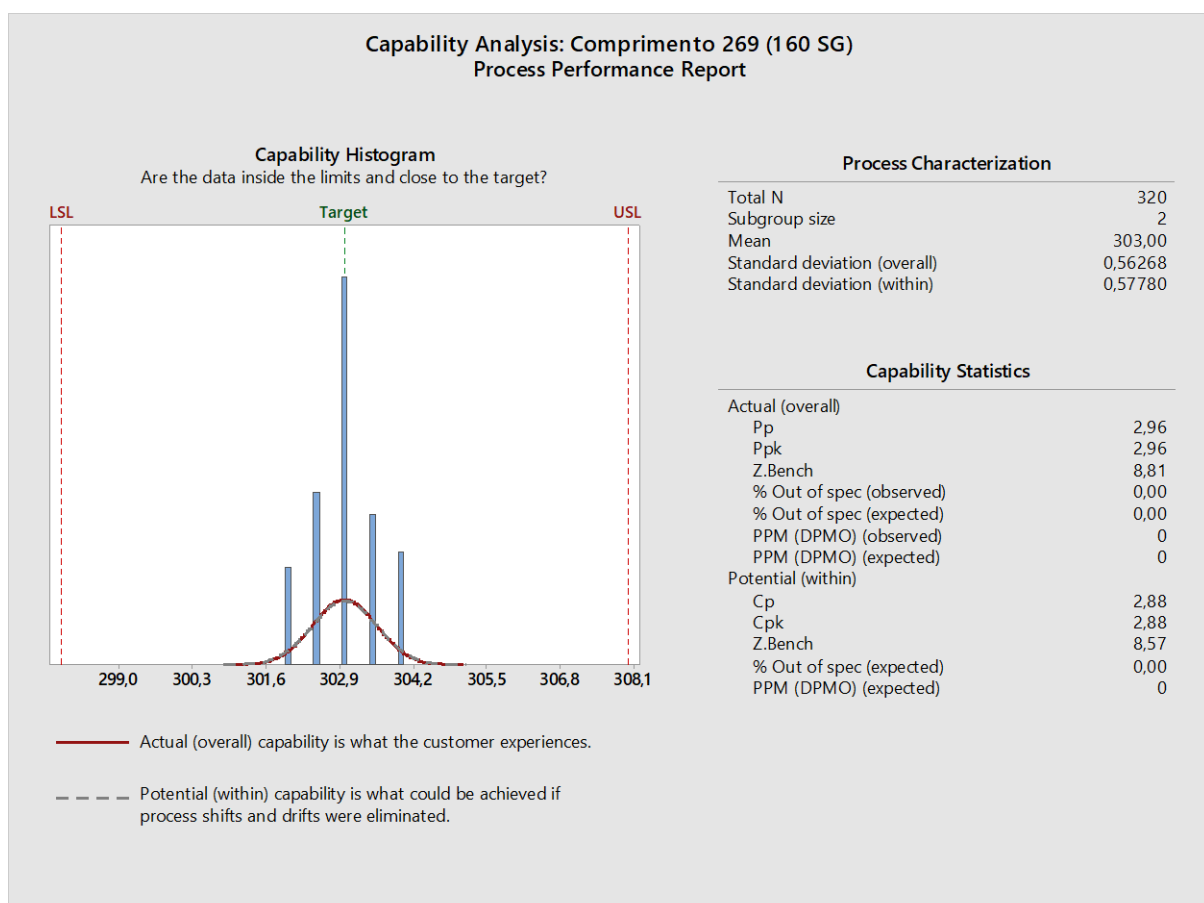


Gráfico 26: Análise de capacidade: Comprimento circuito 269 – 160 subgrupos,

Fonte: O autor

Com todas estas análises realizadas, foi constatado que para este parâmetro, o processo se mostrou mais capaz do que antes das mudanças. O índice do Cp se aproximou ao Pp e o Cpk se aproximou ao Ppk, evidenciando uma maior estabilidade do processo com relação às primeiras medições.

Capacidade	Cp	2,88	Cp > 1,33 => Capaz
	Cpk	2,88	Cpk > 1,33 => Capaz
Performance	Pp	2,96	Pp > 1,33 => Capaz
	Ppk	2,96	Ppk > 1,33 => Capaz

Tabela 8: Capabilidade e performance (depois do projeto): Comprimento do circuito,

Fonte: O autor

3.13 Análise da altura de crimpagem do terminal tubular (pós melhorias)

O primeiro passo, mais uma vez, foi analisar os primeiros 32 subgrupos (2 dias) de forma a se chegar em valores aceitáveis e confiáveis para os limites de controle do processo.

Com o MiniTab, foi feita uma carta de controle (Média-Amplitude) para auxiliar a visualização dos dados. O tamanho do subgrupo é 2.

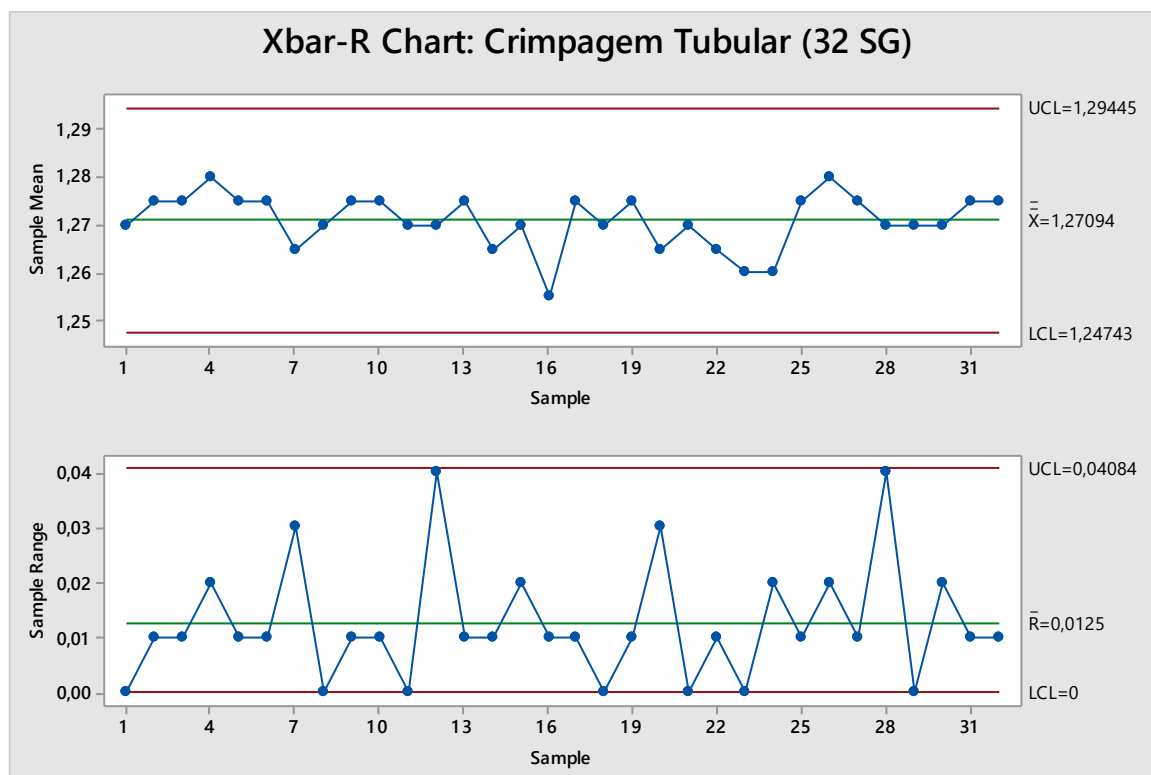


Gráfico 27: Média e amplitude: Altura de crimpagem terminal tubular – 32 subgrupos, Fonte: O autor

Como não houveram quaisquer pontos fora dos limites de controle, o próximo passo foi plotar todos os 160 subgrupos uma carta de controle (Média-Amplitude), considerando os limites de controle encontrados nesta carta.

Sendo assim, tem-se que os limites de controle que serão usados são:

Gráfico da Média – LSC: 1,29445

Gráfico da Média – LIC: 1,24743

Gráfico da Amplitude – LSC: 0,04084

Gráfico da Amplitude – LIC: 0

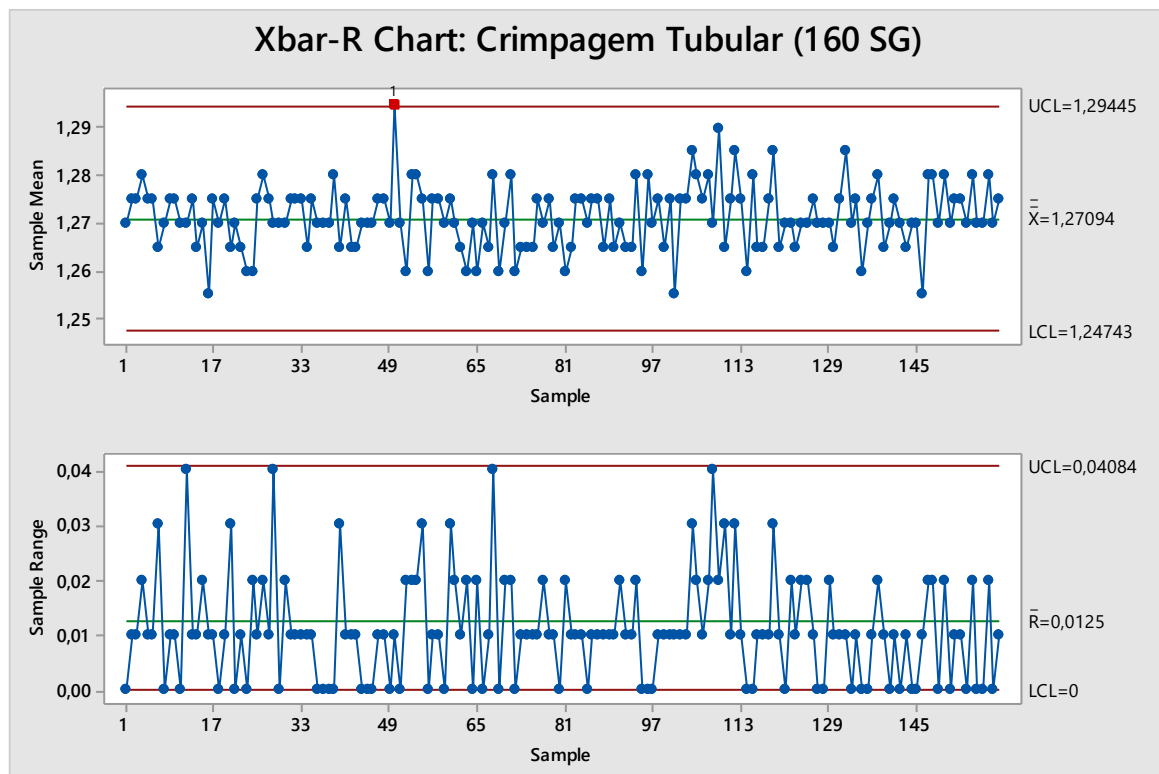


Gráfico 28: Média e amplitude: Altura de crimpagem terminal tubular – 160 subgrupos, Fonte: O autor

Observando a distribuição dos dados, percebe-se que apenas 1 ponto está fora dos limites de controle. Não há tendências.

Para continuar a análise do processo de corte e crimpagem, foi feita uma análise de capacidade com os mesmos dados plotados nos gráficos anteriores. Os valores do limites de especificação foram:

LSE: 1,32mm

Nominal: 1,27mm

LIE: 1,22mm

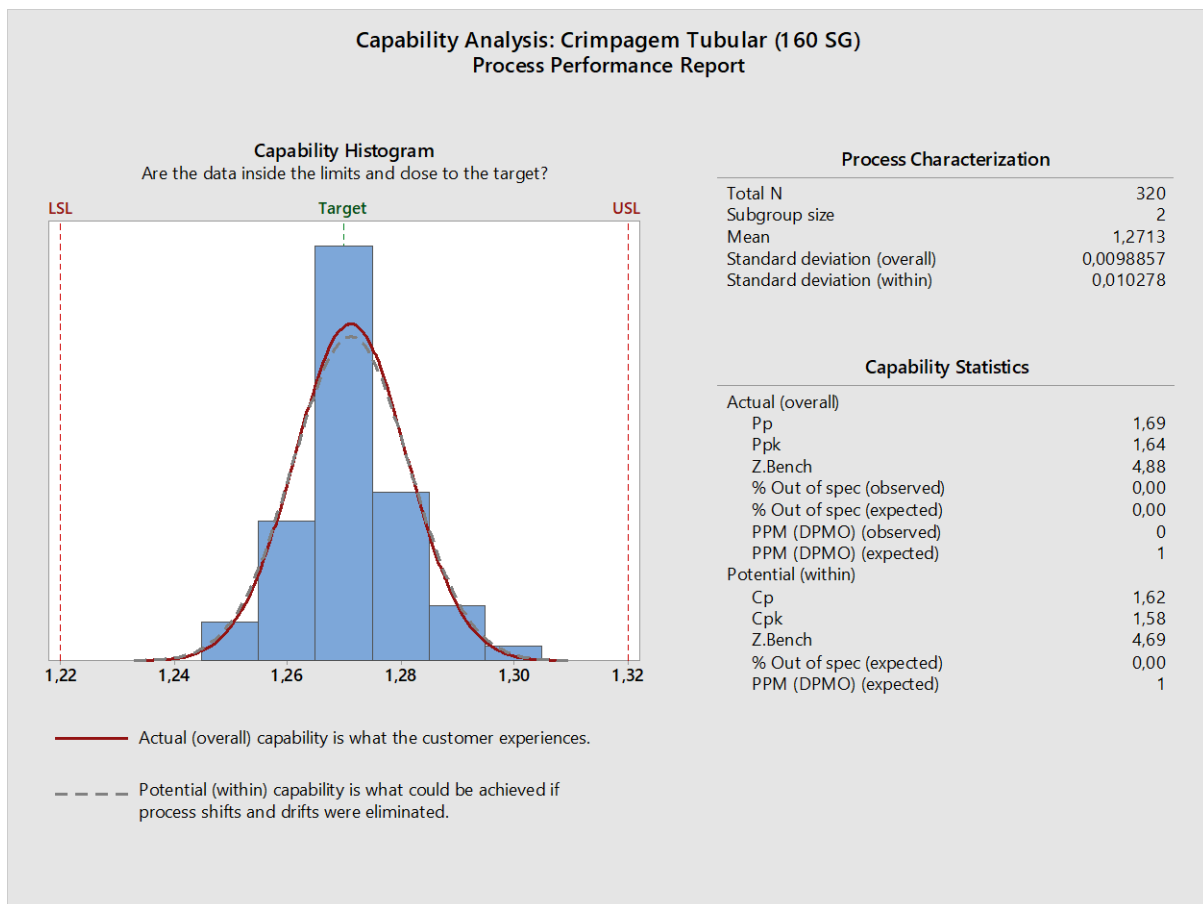


Gráfico 29: Análise de capacidade: Altura de crimpagem terminal tubular – 160 subgrupos, Fonte: O autor

Olhando o gráfico acima, é possível ver uma melhora nítida na destruição dos pontos, isto é, há pouca dispersão em relação ao valor especificado (1,27mm)

Capacidade	Cp	1,62	Cp > 1,33 => Capaz
	Cpk	1,58	Cpk > 1,33 => Capaz
Performance	Pp	1,69	Pp > 1,33 => Capaz
	Ppk	1,64	Ppk > 1,33 => Capaz

Tabela 9: Capacidade e performance (depois do projeto): Altura de crimpagem terminal tubular, Fonte: O autor

Por fim, com todas estas análises realizadas, foi constatado que para este parâmetro, o processo se mostrou mais capaz do que antes das mudanças. O índice do Cp se aproximou ao Pp e o Cpk se aproximou ao Ppk, evidenciando uma maior estabilidade do processo com relação às primeiras medições.

3.14 Análise da altura de crimpagem do terminal reto (pós melhorias)

O primeiro passo foi analisar os primeiros 32 subgrupos (2 dias) de forma a se chegar em valores aceitáveis e confiáveis para os limites de controle do processo.

Com o MiniTab, foi feita uma carta de controle (Média-Amplitude) para auxiliar a visualização dos dados. O tamanho do subgrupo é 2.

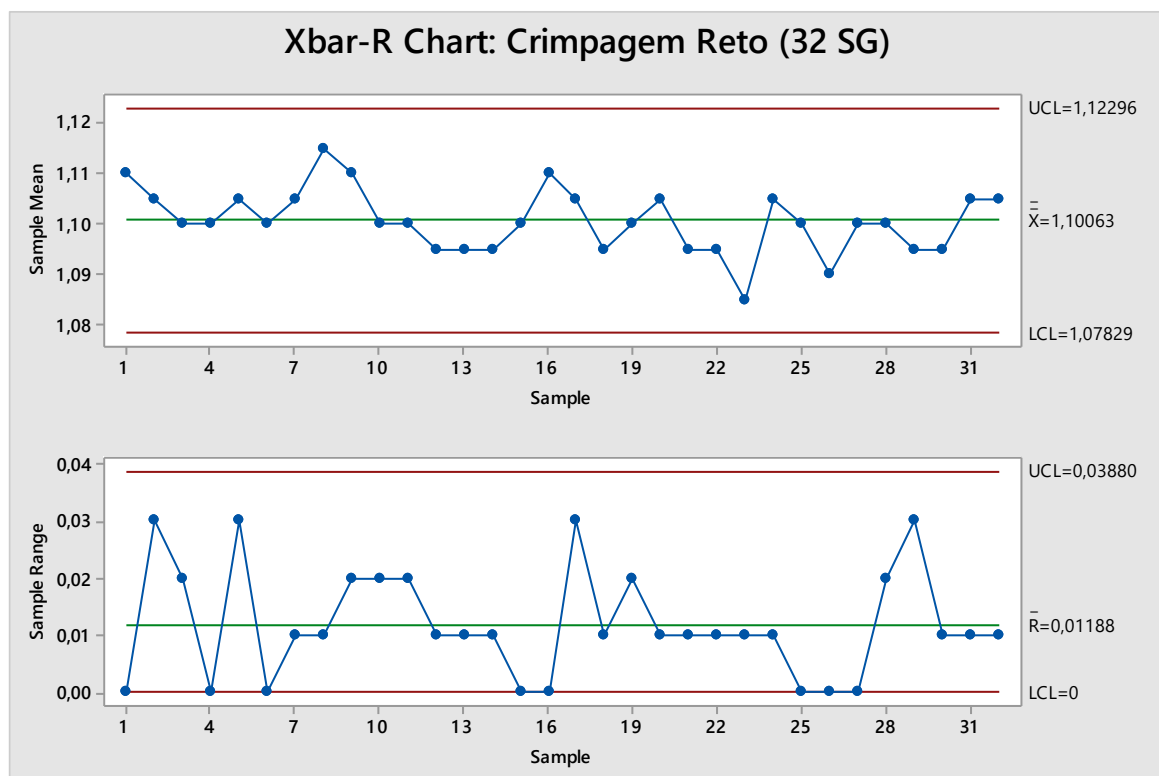


Gráfico 30: Média e amplitude: Altura de crimpagem terminal reto – 32 subgrupos,
Fonte: O autor

Como não houveram quaisquer pontos fora dos limites de controle, o próximo passo foi plotar todos os 160 subgrupos uma carta de controle (Média-Amplitude), considerando os limites de controle encontrados nesta carta.

Sendo assim, tem-se que os limites de controle que serão usados são:

Gráfico da Média – LSC: 1,12296

Gráfico da Média – LIC: 1,07829

Gráfico da Amplitude – LSC: 0,03880

Gráfico da Amplitude – LIC: 0

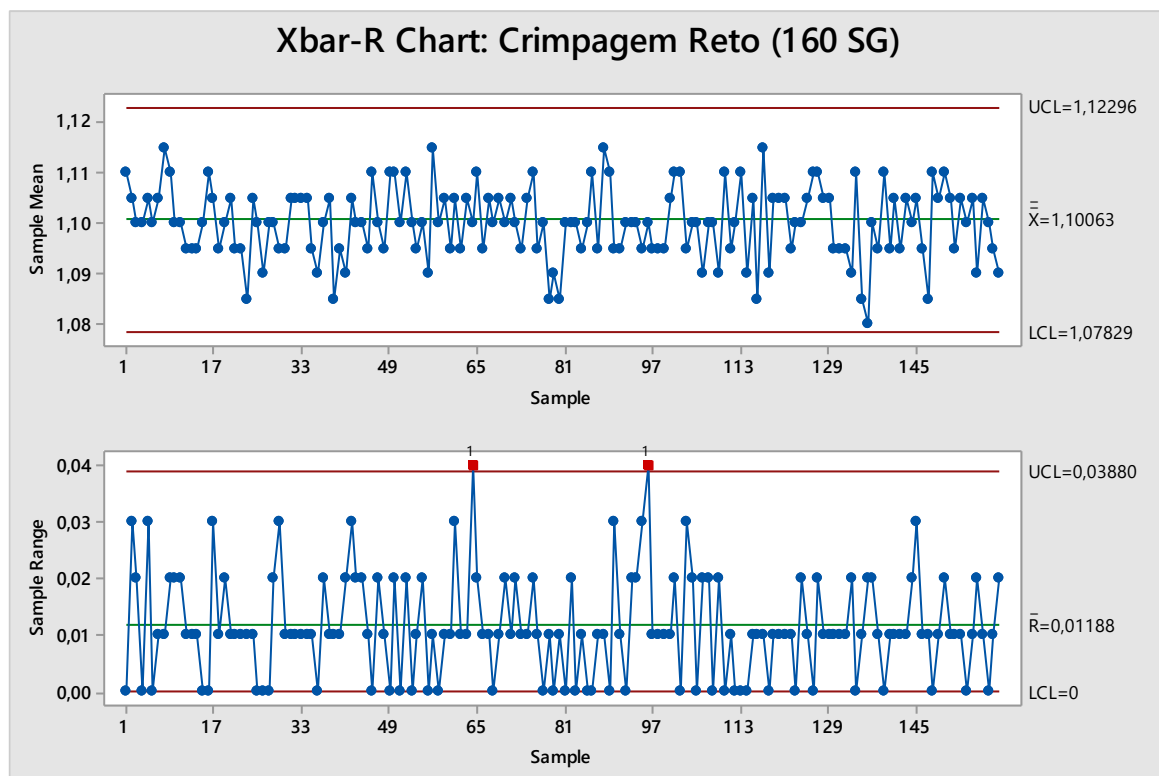


Gráfico 31: Média e amplitude: Altura de crimpagem terminal reto – 160 subgrupos,
Fonte: O autor

Observando a distribuição dos dados, percebe-se que apenas 2 ponto está fora dos limites de controle. Não há tendências.

Para continuar a análise do processo de corte e crimpagem, foi feito uma análise de capacidade com os mesmos dados plotados nos gráficos anteriores. Os valores do limites de especificação foram:

LSE: 1,05mm Nominal: 1,10mm LIE: 1,15mm

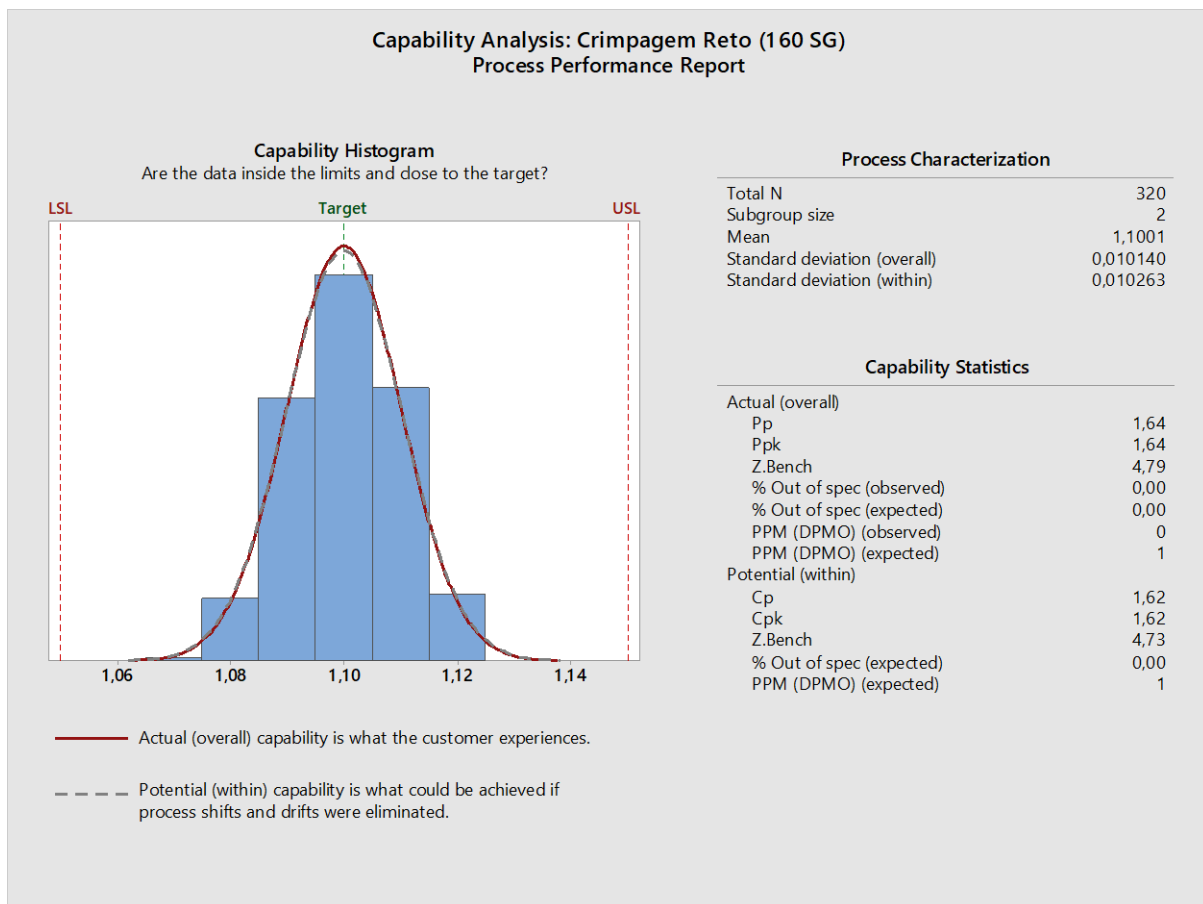


Gráfico 32: Análise de capacidade: Altura de crimpagem terminal reto – 160 subgrupos, Fonte: O autor

Olhando o gráfico acima, é possível ver uma melhora nítida na destruição dos pontos, isto é, há pouca dispersão em relação ao valor especificado (1,10mm)

Capacidade	Cp	1,62	Cp > 1,33 => Capaz
	Cpk	1,62	Cpk > 1,33 => Capaz
Performance	Pp	1,64	Pp > 1,33 => Capaz
	Ppk	1,64	Ppk > 1,33 => Capaz

Tabela 10: Capacidade e performance (depois do projeto): Altura de crimpagem terminal reto, Fonte: O autor

Por fim, com todas estas análises realizadas, foi constatado que para este parâmetro, o processo se mostrou mais capaz do que antes das mudanças. O índice do Cp se aproximou muito ao Pp e o Cpk também se aproximou muito ao

Ppk, evidenciando uma maior estabilidade do processo com relação às primeiras medições.

3.15 Análise dos custos dos rejeitos

Para verificar se as mudanças e melhorias implementadas surtiu algum efeito no custo dos rejeitos, uma nova análise foi feita nas duas semanas de medições descritas anteriormente. Os valores monetários estão proporcionais para a mesma quantia de dias da medição antes das melhorias serem feitas no processo.

Componentes	Porcentagem rejeitada	Valor monetário
Terminal tubular	0,914%	R\$ 130,00
Terminal reto	0,651%	R\$ 152,00
Fio	0,715%	R\$ 1.040,00

Tabela 11: Rejeitos por componentes do circuito depois do projeto, Fonte: O autor

O custo total dos rejeitos é de 1322 reais, muito pouco abaixo do que foi medido antes do projeto. Como a diferença é muito pequena, pode-se afirmar que a redução da variabilidade do processo não reduziu a quantidade de rejeitos. Isso porque, como foi mostrado nas análises antes do projeto, a quantidade de defeitos de produtos fora das especificações era muito pequena (ou quase inexistente) e este número, que já era pequeno, quase não diminuiu.

Sendo assim, conclui-se que essa variação do custo dos rejeitos não tem qualquer relação com as ações tomadas no projeto.

4 Conclusão

4.1 Análise geral dos índices de capacidade e performance

Os índices de capacidade e performance do projeto antes e depois das melhorias foram compilados em uma só tabela para melhor visualização e comparação.

Percebe-se que houve uma melhora significativa nos índices, garantindo assim uma melhoria consistente da qualidade quando entre antes e depois do projeto. Importante ressaltar que todas essas mudanças foram feitas com custos muito baixos e atitudes muito simples, o que ajuda ainda mais a evidenciar os bons resultados obtidos.

Comprimento do circuito (269)							
<u>Cp</u>		<u>Cpk</u>		<u>Pp</u>		<u>Ppk</u>	
Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
2,77	2,88	2,56	2,88	2,56	2,96	2,37	2,96
Altura de crimpagem terminal tubular							
<u>Cp</u>		<u>Cpk</u>		<u>Pp</u>		<u>Ppk</u>	
Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
1,40	1,62	1,37	1,58	1,32	1,69	1,29	1,64
Altura de crimpagem terminal reto							
<u>Cp</u>		<u>Cpk</u>		<u>Pp</u>		<u>Ppk</u>	
Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
1,44	1,62	1,41	1,62	1,36	1,64	1,33	1,64

Tabela 12: Comparação dos índices de capacidade e performance (antes e depois do projeto) , Fonte: O autor

4.2 Análise geral da qualidade com as ações tomadas no projeto

Por fim, ao final deste projeto, espera-se ter entendido um pouco mais sobre o processo de corte e crimpagem e os principais fatores que afetam positiva e negativamente suas variações e, consequentemente, sua qualidade. É importante ver que os índices de capacidade e performance realmente melhoraram com as ações do projeto. Interessante também constatar que as ações de melhoria foram feitas sem qualquer grande investimento ou qualquer medida de grande complexidade.

É válido também entender que a qualidade do processo, apesar de não ter sido melhorada diretamente em número de defeitos, foi aumentada na medida que a variação anormal foi entendida e resolvida, evitando que volte a acontecer e cause problemas nos processos subsequentes (sejam eles internos ou externos à empresa).

Por fim, para ajudar a melhorar continuamente o processo, o software InfinityQS será usado e sempre analisado para maior agilidade e precisão na tomada de ações, quando necessárias.

Em resumo, os benefícios não foram apenas uma maior qualidade e menor variabilidade do processo de corte e crimpagem. Foi também possível compreender melhor algumas fontes de variabilidade e como elas atuavam no processo, fornecendo maior controle, benéfico para todos.

4.3 Sugestões para trabalho futuros

Durante a realização deste trabalho e visando continuar a melhoria contínua do processo de corte e crimpagem, foram identificadas algumas oportunidades de trabalhos futuros.

Um destes trabalhos seria a verificação se, com as melhorias do presente trabalho e com a melhoria nos índices de performance e de capacidade, haveria a possibilidade de redução da frequência amostral, passo para 1 amostra a cada meia hora ou até mesmo a cada uma hora.

Outro trabalho que seria de grande valia para o processo de corte e crimpagem é um estudo para se determinar a vida útil das ferramentas usadas na

área o que evitaria problemas de qualidade caso a ferramenta fosse usada mais tempo do que deveria e aumentaria os custos caso as ferramentas fossem usadas menos do que realmente aguentariam.

5 Bibliografia

ALVES, P. H. B. F., NEUMANN, C. S. R., RIBEIRO, J. L. D. *Etapas para a implantação de controle estatístico do processo: um estudo aplicado*. Ouro Preto: XXIII ENEGEP, 2003. Disponível em: https://scholar.google.com.br/scholar?start=10&q=controle+estat%C3%ADstico+aplicado&hl=pt-BR&as_sdt=0,5. Acesso em 2 de setembro de 2017.

BARCELLOS, M. P. *Uma estratégia para medição de software e avaliação de bases de medidas para controle estatístico de processos de software em organizações de alta maturidade*. Rio de Janeiro: Engenharia de Sistemas e Computação, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <https://inf.ufes.br/~monalessa/PaginaMonalessa-NEMO/TeseDoutoradoMonalessa.pdf>. Acesso em 2 de setembro de 2017.

BASTOS, B., GIACOMINI, B. A., *Gestão da Qualidade*. Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2013. Disponível em: http://luisguilherme.com.br/download/ENG1530/TurmaC04/G09-Gestao_da_Qualidade.pdf. Acesso em 12 de julho de 2017.

CARPINETTI, L. C. R. *Controle da qualidade de processo*. São Carlos: Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos, 1998. Consultado o exemplar.

CORREA, J. M.; CHAVES NETO, A. Estudo do controle e análise da capacidade do processo de produção de água potável. *XLI SBPO 2009 - Pesquisa Operacional na Gestão do Conhecimento*. Disponível em: <http://din.uem.br/sbpo/sbpo2009/artigos/52511.pdf> Acesso em 29 de maio de 2017.

GOMES, F. M. *C.E.P*. Escola de Engenharia de Lorena – Universidade de São Paulo, Lorena, São Paulo, 2010. Disponível em: <http://www.dequi.eel.usp.br/~fabricio/apostila%20CEP.pdf>. Acesso em 4 de setembro de 2017.

LIMA, A. A. N. et al. Aplicação do controle estatístico de processo na indústria farmacêutica. *Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada, Recife*, v. 27, n. 03, 2006, pp. 177-187. Disponível em:

http://servbib.fcfar.unesp.br/seer/index.php/Cien_Farm/article/viewFile/380/36

Acesso em 5 de junho de 2017.

LOUZADA, F., DINIZ, C., FERREIRA, P., FERREIRA, E. *Controle Estatístico de Processos*. São Paulo, 2013. Consultado o exemplar.

MEDEIROS, L., *Controle Estatístico da Qualidade*. Departamento do Estatística, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2013. Disponível em:

<http://www.de.ufpb.br/~luiz/CEQ/Aula2.pdf>. Acesso em 4 de setembro de 2017.

PIEROZAN, L. *Estabilização de processos: Um estudo de caso no setor de pintura automotiva*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

Disponível em:

<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/1894/000266001.pdf?sequence=1>.

Acesso em 2 de setembro de 2017.

PALADINI, E. P., *Gestão da qualidade: teoria e prática*. Segunda edição, Editora Atlas, São Paulo, 2010. Consultado o exemplar.

RIBEIRO, J. L. D.; CATEN, C. S. *Série monográfica Qualidade: Controle Estatístico do Processo*. Porto Alegre: FEENG/UFRGS - Fundação Empresa Escola de Engenharia da UFRGS, 2012. Disponível em:

http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/disciplinas/388_apostilacep_2012.pdf. Acesso

em 3 de junho de 2017.

ROUVERSON P. SILVA, FÁBIO G. SOUZA, JORGE W. CORTEZ, CARLOS E. A. FURLANI. GUSTAVO P. VIGNA. *Variabilidade espacial e controle estatístico do processo de perdas na colheita mecanizada do algodoeiro*. Jaboticabal: UNESP – Departamento de Engenharia Rural, 2007. Disponível em:

<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/27797>. Acesso em 25 de agosto de 2017.

ROUVERSON P. SILVA, CAIO F. CORRÊA, JORGE W. CORTEZ, CARLOS E. A. FURLANI. *Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar*. Jaboticabal: UNESP – Departamento de Engenharia Rural, 2008.

Disponível em:

<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v28n2/a10v28n2>. Acesso em 30 de agosto de 2017.

SOUZA, R., ABIKO, A., *Metodologia para Desenvolvimento e Implantação de Sistemas de Gestão da Qualidade em Empresas Construtoras de Pequeno e Médio Porte*. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 1997. Disponível em:

http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT_00190.pdf. Acesso em 8 de julho de 2017